

LUDWIG VON BERTALANFFY
fce
TEORIA GENERAL DE LOS SISTEMAS

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

TEORIA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Traducción de
JUAN ALMELA

Ludwig von Bertalanffy

TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Fundamentos, desarrollo, aplicaciones



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
MÉXICO

Primera edición en inglés, 1968
Primera edición en español, 1976
Primera reimpresión, 1979
Segunda reimpresión, 1980
Tercera reimpresión, 1982
Cuarta reimpresión, 1984
Quinta reimpresión, 1986
Sexta reimpresión, 1987
Séptima reimpresión, 1989

Título original:
General System Theory; Foundations, Development, Applications

Publicado por George Braziller, Nueva York

Av. de la Universidad, 975; 03100 México, D.F.

ISBN 968-16-0627-2

Impreso en México

Manibus Nicolai de Cusa Cardinalis, Gottfriedi Guglielmi Leibnitii, Joannis Wolfgangi de Goethe Aldique Huxleyi, necnon de Bertalanffy Pauli, S. J., antecessoris, cosmographi.

Prefacio

Se diría que el presente volumen requiere algunas notas de introducción, que aclaren su alcance, contenido y método de presentación.

Abundan los textos, monografías, coloquios, etc. dedicados a los «sistemas» y la «teoría de los sistemas». La «ciencia de los sistemas» —o alguno de sus muchos sinónimos— se está volviendo rápidamente parte de los planes de estudio universitarios establecidos. Se trata, más que nada, de una innovación en ingeniería en el sentido amplio del vocablo, requerida por la complejidad de los «sistemas» en la tecnología moderna, por las relaciones entre hombre y máquina, la programación y consideraciones análogas que no se hacían sentir en la tecnología de hace unos años, pero que son ineludibles en las complejas estructuras tecnológicas y sociales del mundo moderno. En este sentido, la teoría de los sistemas es ante todo un campo matemático que ofrece técnicas, en parte novedosas y muy detalladas, estrechamente vinculadas a la ciencia de la computación, y orientado más que nada por el imperativo de vérselas con un nuevo tipo de problema.

Lo que tiende a quedar a oscuras entre estos cambios —por importantes que sean— es el hecho de que la teoría de los sistemas representa un amplio punto de vista que trasciende grandemente los problemas y los requerimientos tecnológicos, una reorientación que se ha vuelto necesaria en la ciencia en general, en toda la gama de disciplinas que va de la física y la biología a las ciencias sociales y del comportamiento y hasta a la filosofía. Con distintos grados de éxito y de exactitud, interviene en varios dominios y

anuncia una nueva visión del mundo que tendrá repercusiones considerables. El que estudia «ciencia de los sistemas» recibe un adiestramiento técnico que convierte la teoría de los sistemas —cuya pretensión inicial era vencer la actual superespecialización— en otra de los cientos de especialidades académicas. Por lo demás, la ciencia de los sistemas, que gira en torno a la tecnología de las computadoras, la cibernética, la automación y la ingeniería de sistemas, parece hacer de la idea de sistema otra técnica —la última— dedicada a transformar hombre y sociedad, cada vez en mayor medida, en la «megamáquina» cuyo progreso a través de la historia ha descrito Mumford (1967) de modo tan impresionante.

El presente libro aspira a contribuir en los dos aspectos que se acaban de esbozar: ofreciendo al estudioso de la ciencia de los sistemas una visión ampliada, y al lector general un panorama de este adelanto, indudablemente característico del mundo presente e importante para él. Aunque se da clara cuenta de sus limitaciones y peros, el autor se decide a ello por contarse entre los primeros que implantaron la teoría general de los sistemas, hoy campo importante de investigación y aplicación.

Como observó atinadamente Simon (1965), la introducción a un campo en rápido desenvolvimiento consiste en gran medida en su historia conceptual. De ahí que no sea quizá inapropiado el hecho de que esta obra consista en estudios escritos en un período de unos treinta años. Así, el libro no expone la teoría de los sistemas como una doctrina rígida (y hasta el presente no lo es), sino en su evolución y el desarrollo de sus ideas; esperamos que esto sirva de base para mayor estudio e investigación.

Con esta intención, los estudios fueron dispuestos en orden lógico antes que cronológico y se revisaron escrupulosamente, sin pasar, con todo, de eliminar repeticiones, mejorar levemente el estilo y hacer trasposiciones oportunas. Intencionalmente no se modificó el contenido a la luz de cosas averiguadas más tarde. Fue imposible evitar del todo las repeticiones, pues a veces se presentaban las mismas ideas en diferentes contextos, pero esperamos no haber salido del nivel tolerable. Acaso esto, a fin de cuentas, no sea tan indeseable para quien busque la idea general o su aplicación a determinado campo.

A continuación de este prefacio se indica la procedencia de los trabajos. Con fines de evaluación del material presentado y por razones de prioridad que no tardarán en verse claras, resumire-

mos así algunos datos principales. El capítulo v (1940) introdujo la «teoría del organismo como sistema abierto». Junto con la labor de Burton (1939), fue el enunciado original de un concepto que ganó creciente importancia y aplicación. Esta publicación casi no la conocieron los científicos británicos y estadounidenses; de ahí que sea reproducida entera, aunque mucho podría añadírsele, según se aprecia en parte en los capítulos vii (1964) y vi (1967). Análogamente, en el capítulo iii se reproduce el primer anuncio de la teoría general de los sistemas (1945), abreviado y algo trastrocado, pero fiel en lo demás al original. El Apéndice (reseña de una plática dada en 1947) se reproduce como testimonio temprano, muy anterior al surgimiento académico o tecnológico de la teoría de los sistemas y de términos y temas afines. El capítulo ii es una revisión en lenguaje no técnico (1956); los capítulos i y iv procuran poner la historia al día.

El autor desea extender su agradecimiento a muchas personas e instituciones que facilitaron el trabajo aquí expuesto. Agradece al doctor George Brantl, editor de George Braziller, Inc., haber sugerido la publicación y contribuido valiosamente a ella. Se agradece la autorización de editores que fueron los primeros en publicar los ensayos, y también a instituciones como el National Research Council y el National Cancer Institute of Canada, el Canada Council, el University of Alberta General Research Committee y otros, que patrocinaron parte de la labor aquí descrita. La secretaria del autor, la señora Elizabeth Grundau, se encargó de las distintas fases del manuscrito, ayudó en la bibliografía y en la biblioteca y tradujo los capítulos publicados originalmente en alemán, o sea que hizo mucho más de lo que le incumbía. Por último, debo agradecer a mi esposa, María von Bertalanffy, por su ayuda y crítica infatigables cuando fueron escritos los ensayos. Sin el estímulo de colegas demasiado numerosos, para ser citados, el autor, ante tropiezos y obstáculos, no habría llevado adelante el propósito de implantar y desarrollar la teoría general de los sistemas.

L. v. B.

Universidad de Alberta
Edmonton (Canadá)
Marzo de 1968

Prefacio a la edición revisada

En los pocos años transcurridos desde que fue publicado este libro por vez primera, se han dado grandes adelantos en la teoría general de los sistemas. Me es grata, pues, la oportunidad ofrecida por esta edición revisada para presentar algunos comentarios desde el punto que hoy por hoy hemos alcanzado.

Hace unos treinta años que postulé y nombré la teoría general de los sistemas. A partir de entonces, esta teoría —a veces con nombres parecidos— se ha convertido en una disciplina reconocida, objeto de cursos universitarios, textos, compilaciones, revistas, reuniones, grupos de trabajo, centros y demás *accoutrements* de un campo de enseñanza e investigación universitarias. O sea que se ha vuelto realidad mi postulado de una «ciencia nueva».

Todo esto se fundó en desarrollos múltiples, que serán repasados en el presente libro. El punto de vista de los sistemas ha penetrado en muy diversos campos científicos y tecnológicos, en los que incluso se ha tornado indispensable. Este hecho, y el de que represente un nuevo «paradigma» (por usar la expresión de Thomas Kuhn) en el pensamiento científico, tiene por consecuencia que el concepto de sistema pueda ser definido y ahondado de diferentes modos, según lo requieran los objetivos de la investigación, que reflejan distintos aspectos de la noción central.

En tales circunstancias, hay dos maneras de introducirse en este campo. Es posible aceptar uno de los modelos y definiciones disponibles de sistema y derivar rigurosamente la teoría consiguiente. Por fortuna se dispone de presentaciones así, y algunas serán citadas a continuación.

El otro recurso —que será el seguido en este libro— es partir de los problemas, tal como han surgido en las varias ciencias, mostrar la necesidad del punto de vista de los sistemas y desarrollarlo, con mayor o menor detalle, merced a una selección de ejemplos ilustrativos. Semejante procedimiento no presenta una exposición rigurosa de la teoría, y los ejemplos dados serán reemplazables; es decir, a modo de ilustración servirían otros, y acaso mejores. No obstante, de acuerdo con la experiencia del autor —y con la de otros también, a juzgar por la gran aceptación alcanzada por este libro—, tal visión panorámica sirve al que estudia de introducción apropiada a un nuevo modo de pensar, aceptado con interés y hasta entusiasmo, y al ya enterado como punto de partida para mayores trabajos. Testimonio de esto último son las numerosas investigaciones que se inspiraron en la presente obra.

Un crítico competente (Robert Rosen en *Science, 164*, 1969, p. 681) halló «sorprendentemente pocos anacronismos que requirieran corrección» en el presente libro, con todo y que contiene algunos capítulos que se remontan a 30 años atrás. Es éste un gran elogio, si se considera que hoy por hoy las monografías científicas propenden a «requerir corrección» aun en el momento de aparecer. No se debió esto —como insinuaba el mencionado reseñador— a retoques atinados (en realidad el retoque no pasó de un mínimo de mejoramiento estilístico), sino a que, según todas las señales, el autor tenía «razón», en el sentido de haber sentado un cimiento certero y de haber predicho correctamente adelantos venideros. Léanse, por ejemplo, los problemas de sistemas que figuran en el párrafo sobre el isomorfismo en la ciencia del presente libro; hoy en día, estos problemas (y otros) los están resolviendo la teoría dinámica de los sistemas y la teoría del control. El isomorfismo entre leyes es presentado en este libro mediante ejemplos elegidos con ilustraciones intencionalmente sencillas, pero otro tanto es aplicable a casos más enrevesados, que andan lejos de ser matemáticamente triviales. Es, así, un hecho notable que sistemas biológicos tan diversos como el sistema nervioso central y la trama de regulación bioquímica en la célula resulten estrictamente análogos, lo cual se hace aun más significativo cuando se aprecia que esta analogía entre diferentes sistemas en diferentes niveles de organización biológica no es sino un miembro de una vasta clase de analogías. (Rosen, 1967).

En un nivel de mayor generalidad, más de una vez se señaló en

este volumen el «paralelismo entre principios cognoscitivos generales en diferentes campos». No se previó, con todo, que la teoría general de los sistemas habría de desempeñar un importante papel en las orientaciones modernas de la geografía, o de ser paralela al estructuralismo francés (p. ej. Piaget, Lévi-Strauss) y ejercer considerable influencia sobre el funcionalismo sociológico estadounidense.

Con la expansión creciente de la actitud de sistemas y los estudios al respecto, la definición de la teoría general de los sistemas ha sido objeto de renovado escudriñamiento, de modo que quizá no esté de más alguna indicación tocante a su sentido y alcance. La expresión «teoría general de los sistemas» la introdujo el presente autor deliberadamente, en un sentido amplio. Por supuesto, es posible restringirse al sentido «técnico», desde el punto de vista matemático, como tantas veces se hace, pero esto no parece del todo recomendable, en vista de que abundan los problemas de «sistemas» que requieren una teoría no disponible al presente, todavía, en términos matemáticos. De suerte que aquí el nombre de «teoría general de los sistemas» es empleado ampliamente, como se usa la expresión «teoría de la evolución», que viene a significar casi todo lo que cae entre desenterrar fósiles, hacer anatomía o desarrollar la teoría matemática de la selección, o como se habla de «teoría del comportamiento», que va de la observación de pájaros a teorías neurofisiológicas rebuscadas. Lo que cuenta es la llegada de un nuevo paradigma.

A rasgos generales pueden indicarse tres aspectos principales. no separables en cuanto a contenido pero distinguibles en intención. El primero es circunscribible como «ciencia de los sistemas», o sea la exploración y la explicación científicas de los «sistemas» de las varias ciencias (física, biología, psicología, ciencias sociales...), con la teoría general de los sistemas como doctrina de principios aplicables a todos los sistemas (o a subclases definidas de ellos).

Están ingresando en la esfera del pensamiento científico entidades de naturaleza esencialmente nueva. En sus diversas disciplinas —ya fueran la química, la biología, la psicología o las ciencias sociales—, la ciencia clásica procuraba aislar los elementos del universo observado —compuestos químicos, enzimas, células, sensaciones elementales, individuos en libre competencia y tantas cosas más—, con la esperanza de que volviéndolos a juntar, conceptual o experimentalmente, resultaría el sistema o totalidad —célula, mente, sociedad—, y sería inteligible. Ahora hemos aprendido que para comprender no se requieren sólo los elementos sino las relaciones entre ellos

—digamos, la interacción enzimática en una célula, el juego de muchos procesos mentales conscientes e inconscientes, la estructura y dinámica de los sistemas sociales, etc. Esto requiere la exploración de los numerosos sistemas de nuestro universo observado, por derecho propio y con sus especificidades. Por añadidura, aparecen aspectos, correspondencias e isomorfismos generales comunes a los «sistemas». Tal es el dominio de la *teoría general de los sistemas;* de hecho, tales paralelismos o isomorfismos aparecen —a veces inesperadamente— en «sistemas» del todo distintos por lo demás. De modo que la teoría general de los sistemas es la exploración científica de «todos» y «totalidades» que no hace tanto se consideraban nociones metafísicas que salían de las lindes de la ciencia. Para vérselas con ello han surgido novedosas concepciones, modelos y campos matemáticos, como la teoría dinámica de los sistemas, la cibernética, la teoría de los autómatas, el análisis de sistemas merced a las teorías de los conjuntos, las redes y las gráficas, y así sucesivamente.

El segundo territorio es el de la «tecnología de los sistemas», o sea el de los problemas que surgen en la tecnología y la sociedad modernas y que comprenden tanto el *hardware* de computadoras, automación, maquinaria autorregulada, etc., como el *software* de los nuevos adelantos y disciplinas teóricos.

La tecnología y la sociedad modernas se han vuelto tan complejas que los caminos y medios tradicionales no son ya suficientes, y se imponen actitudes de naturaleza holista, o de sistemas, y generalista, o interdisciplinaria. Esto es cierto en muchos sentidos. Sistemas en múltiples niveles piden control científico: ecosistemas, cuya perturbación lleva a problemas apremiantes como el de la contaminación; organizaciones formales, como la burocracia, las instituciones educativas o el ejército; los graves problemas que se presentan en sistemas socioeconómicos, en relaciones internacionales, política y represalias. Sin importar hasta dónde sea posible la comprensión científica (en contraste con la admisión de la irracionalidad de los acontecimientos culturales e históricos), y en qué grado sea factible, o aun deseable, el control científico; es indiscutible que son en verdad problemas «de sistemas», o sea problemas de interrelaciones entre gran número de «variables». Lo mismo se aplica a objetivos más limitados en la industria, el comercio y el armamento. Los requerimientos tecnológicos han conducido a nuevos conceptos y disciplinas, en parte muy originales y que implantan nuevas nocio-

nes básicas, como las de las teorías del control y la información, de los juegos y de la decisión, de los circuitos y de las colas, etc. La característica general, una vez más, es que éstas descienden de problemas específicos y concretos en tecnología, pero los modelos, conceptualizaciones y principios —así los de información, retroalimentación, control, estabilidad, circuito, etc.— han ido mucho más allá de las fronteras de las especialidades, tienen naturaleza interdisciplinaria y resultaron independientes de sus concreciones especiales, según lo ilustran modelos isomorfos de retroalimentación en sistemas mecánicos, hidrodinámicos, eléctricos, biológicos, etc. Análogamente, convergen adelantos originados en ciencia pura y aplicada, como en la teoría dinámica de los sistemas y la teoría del control. Una vez más se extiende todo un espectro desde la teoría matemática muy afinada, pasando por la simulación con computadora, en la cual pueden tratarse variables cuantitativamente, en ausencia de soluciones analíticas, hasta la discusión más o menos informal de problemas que tienen que ver con sistemas.

En tercer lugar está la «filosofía de los sistemas», a saber, la reorientación del pensamiento y la visión del mundo resultante de la introducción del «sistema» como nuevo paradigma científico (en contraste con el paradigma analítico, mecanicista, unidireccionalmente causal, de la ciencia clásica). Al igual que toda teoría científica de gran alcance, la teoría general de los sistemas tiene sus aspectos «metacientíficos» o filosóficos. El concepto de «sistema» constituye un nuevo «paradigma», por hablar como Thomas Kuhn, o una «nueva filosofía de la naturaleza», según dijo quien esto escribe (1967), contrastando las «leyes ciegas de la naturaleza» de la visión mecanicista del mundo y el devenir del mundo como argumento shakespeariano contado por un idiota, con una visión organísmica de «el mundo como una gran organización».

Esto bien puede dividirse en tres partes. Tenemos, primero, que dar con la «naturaleza del animal». Se trata de la *ontología de sistemas* —qué se entiende por «sistema» y cómo están plasmados los sistemas en los distintos niveles del mundo de la observación.

Qué haya de definirse y de describirse como sistema no es cosa que tenga respuesta evidente o trivial. Se convendrá en que una galaxia, un perro, una célula y un átomo son *sistemas reales*, esto es, entidades percibidas en la observación o inferidas de ésta, y que existen independientemente del observador. Por otro lado están los *sistemas conceptuales*, como la lógica, las matemáticas

(pero incluyendo, p. ej., también la música), que son ante todo construcciones simbólicas, con *sistemas abstraídos* (ciencia) como subclase de las últimas, es decir, sistemas conceptuales correspondientes a la realidad.

Con todo, la distinción no es, ni mucho menos, tan nítida y clara como pudiera creerse. Un ecosistema o un sistema social es bien «real», según apreciamos en carne propia cuando, digamos, el ecosistema es perturbado por la contaminación, o la sociedad nos pone enfrente tantos problemas insolutos. Mas no se trata de objetos de percepción u observación directa; son construcciones conceptuales. Lo mismo pasa hasta con los objetos de nuestro mundo cotidiano, que en modo alguno son sencillamente «datos» como datos sensoriales o simples percepciones, sino que en realidad están construidos con innumerables factores «mentales» que van de la dinámica gestaltista y los procesos de aprendizaje a los factores culturales y lingüísticos que determinan en gran medida lo que de hecho «vemos» o percibimos. Así, la distinción entre objetos y sistemas «reales» dados en la observación, y construcciones y sistemas «conceptuales», es imposible de establecer sin más que sentido común. Se trata de hondos problemas que aquí apenas podemos señalar.

Esto nos lleva a la *epistemología de sistemas*. De lo anterior se desprende cuánto difiere de la epistemología del positivismo o empirismo lógico, con todo y que comparta su actitud científica. La epistemología (y metafísica) del positivismo lógico está determinada por las ideas de fisicalismo, atomismo y la «teoría de la cámara» para el conocimiento. Todo esto está anticuado a la luz de los conocimientos de hoy. Frente al fisicalismo y el reduccionismo, los problemas y modos de pensamiento de las ciencias biológicas, sociales y del comportamiento requieren igual consideración, y la simple «reducción» a las partículas elementales y las leyes ordinarias de la física no parece ser factible. En comparación con el proceder analítico de la ciencia clásica, con resolución en elementos componentes y causalidad lineal o unidireccional como categoría básica, la investigación de totalidades organizadas de muchas variables requiere nuevas categorías de interacción, transacción, organización, teleología, etc., con lo cual surgen muchos problemas para la epistemología y los modelos y técnicas matemáticos. Además la percepción no es una reflexión de «cosas reales» (cualquiera que sea su condición metafísica), ni el conocimiento una mera aproximación a la «verdad»

o la «realidad». Es una interacción entre conocedor y conocido, dependiente de múltiples factores de naturaleza biológica, psicológica, cultural, lingüística, etc. La propia física nos enseña que no hay entidades últimas tales como corpúsculos u ondas, que existan independientemente del observador. Esto conduce a una filosofía «perspectivista» para la cual la física, sin dejar de reconocerle logros en su campo y en otros, no representa el monopolio del conocimiento. Frente al reduccionismo y las teorías que declaran que la realidad no es «nada sino» (un montón de partículas físicas, genes, reflejos, pulsiones o lo que sea), vemos la ciencia como una de las «perspectivas» que el hombre, con su dotación y servidumbre biológica, cultural y lingüística, ha creado para vérselas con el universo al cual está «arrojado» o, más bien, al que está adaptado merced a la evolución y la historia.

La tercera parte de la filosofía de los sistemas se ocupará de las relaciones entre hombre y mundo o de lo que se llaman «valores» en el habla filosófica. Si la realidad es una jerarquía de totalidades organizadas, la imagen del hombre diferirá de la que le otorgue un mundo de partículas físicas gobernadas por el azar, como realidad última y sola «verdadera». Antes bien, el mundo de los símbolos, valores, entidades sociales y culturas es algo muy «real», y su inclusión en un orden cósmico de jerarquías pudiera salvar la oposición entre las «dos culturas» de C. P. Snow, la ciencia y las humanidades, la tecnología y la historia, las ciencias naturales y sociales, o como se quiera formular la antítesis.

Este cuidado humanístico de la teoría general de los sistemas, tal como la entiendo, la distingue de los teóricos de los sistemas, orientados de modo mecanicista, que sólo hablan en términos de matemáticas, retroalimentación y tecnología, despertando el temor de que la teoría de los sistemas sea en realidad el paso final hacia la mecanización y la devaluación del hombre y hacia la sociedad tecnocrática. Aunque comprendo y subrayo el aspecto matemático, científico puro y aplicado, no me parece que sea posible evadir estos aspectos humanísticos, si es que la teoría general de los sistemas no ha de limitarse a una visión restringida y fraccionaria.

He aquí acaso otra razón para usar este libro como introducción al campo. Una exposición como de libro de texto debe seguir el camino derecho y estrecho de la rectitud matemática y científica. No hay que insistir en la necesidad de semejante exposición «técni-

ca». Pero hay otros muchos problemas que abarca la teoría general de los sistemas y a los que este libro servirá de guía.

Aparte de una bibliografía muy amplia, que indica las fuentes citadas en el texto, se da una lista de lecturas recomendadas que sin duda serán de provecho para el estudiante. Más específicamente, las siguientes publicaciones recientes servirán de valiosa ampliación en torno a temas expuestos en este libro. Se discuten los distintos enfoques de la teoría general de los sistemas en *Trends in General Systems Theory* (G. Klir, ed.) y en *Unity through Diversity (Festschrift in Honor of L. von Bertalanffy*, W. Gray y N. Rizzo, eds.), en especial los libros II y IV. La teoría dinámica de los sistemas es expuesta en *Dynamical System Theory* por Robert Rosen. La *Biophysik* de W. Beier (de la que seguramente habrá pronto traducción inglesa) contiene una excelente presentación de la teoría dinámica de los sistemas y de la teoría de los sistemas abiertos, siguiendo los lineamientos del presente autor. Una elaboración axiomática es *An Approach to General Systems Theory*, de G. J. Klir. Por lo que respecta a la teoría de los sistemas desarrollada desde el punto de vista de la tecnología del control, sugerimos *Einführung in die moderne Systemtheorie*, de H. Schwarz. Acerca de la teoría de los sistemas en las ciencias del hombre son importantes los siguientes libros: *General Systems Theory and Psychiatry* (W. Gray, F. D. Duhl y N. D. Rizzo, eds.); *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist* (W. Buckley, ed.); *System, Change and Conflict* (N. J. Demerath y R. A. Peterson, eds.). La filosofía de los sistemas es desarrollada en *Introduction to Systems Philosophy*, de Laszlo.

Salvo por la corrección de alguna errata, conservamos el texto de la edición original, añadiéndole este prefacio, el apéndice «Notas sobre adelantos en la teoría matemática de los sistemas» y un suplemento bibliográfico al final. Esperamos que este libro siga sirviendo como introducción para los estudiantes y de estímulo a quienes se ocupan de la teoría general de los sistemas.

Procedencia de los capítulos

La mayoría de los capítulos de este volumen han aparecido anteriormente, a veces en forma modificada. A continuación se da la historia de cada uno.

Capítulo I: Escrito para este volumen (1967).

Capítulo II: «General System Theory», en *Main Currents in Modern Thought*, vol. 11, # 4, marzo de 1955, pp. 75-83. Reproducido en *General Systems*, 1 (1956), 1-10; R. W. Taylor, ed., *Life, Language, Law, Essays in Honor of A. F. Bentley*, Yellow Springs (Ohío), Antioch Press, 1957, pp. 58-78; J. D. Singer, ed., *Human Behavior and International Politics*, Chicago, Rand McNally & Co., 1965, pp. 20-31; N. J. Demerath III y R. A. Peterson, eds., *System, Change, and Conflict*, Glencoe (Ill.), Free Press, 1967. Fueron tomadas ampliaciones de «Allgemeine Systemtheorie. Wege zu einer neuen mathesis universalis», *Deutsche Universitätszeitung*, 5/6 (1957), 8-12. También en italiano, «La teoria generale dei sistemi», *La Voce dell'America*, 18-G y 2-H (1956-57), y en francés, «Histoire et méthodes de la théorie générale des systèmes», *Atomes*, 21 (1966) 100-104.

Capítulo III: Condensado de «Zu einer allgemeinen Systemlehre», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 18, núm. 3/4 (1945); «An Outline of General System Theory», *British Journal of the Philosophy of Science*, 1 (1950), 139-164; «Zu einer allgemeinen Systemlehre», *Biologia Generalis*, 19 (1949), 114-129.

Capítulo IV: «General System Theory. A Critical Review», *General Systems*, 7 (1962), 1-20; reimpreso en W. Buckley, ed., *Modern*

Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago, Aldine Publiching Co., 1968, pp. 11-30.

Capítulo V: «Der Organismus als physikalisches System betrachtet» *Die Naturwissenschaften*, 28 (1940), 521-531.

Capítulo VI: «Das Modell des offenen Systems», *Nova Acta Leopoldina* (1969).

Capítulo VII: «Basic Concepts in Quantitative Biology of Metabolism», *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9 (First International Symposium on Quantitative Biology of Metabolism) (1964), 5-37.

Capítulo VIII: Extracto de conferencias pronunciadas de la University of Western Ontario (London), la University of California Medical School (San Francisco), la University of Alberta (Edmonton, Calgary), etc., 1961-64.

Capítulo IX: «General System Theory and Psychiatry», del capítulo 43 de The American Handbook of Psychiatry, vol. 3, Silvano Arieti, red., Basic Books, Inc., Nueva York, 1966.

Capítulo X: «An Essay on the Relativity of Categories», *Philosophy of Science*, 22 (1955), 243-263; reimpreso en *General Systems*, 7 (1962), 71-83.

Apéndice: «Vom Sinn und der Einheit der Naturwissenschaften. Aus einem Vortrag von Prof. Dr. Ludwig von Bertalanffy», *Der Student*, Wien, 2, núm. 7/8 (1947), 10-11.

I. Introducción

Sistemas por doquier

Si alguien se pusiera a analizar las nociones y muletillas de moda hoy por hoy, en la lista aparecería «sistemas» entre los primeros lugares. El concepto ha invadido todos los campos de la ciencia y penetrado en el pensamiento y el habla populares y en los medios de comunicación de masas. El razonamiento en términos de sistemas desempeña un papel dominante en muy variados campos, desde las empresas industriales y los armamentos hasta temas reservados a la ciencia pura. Se le dedican innumerables publicaciones, conferencias, simposios y cursos. En años recientes han aparecido profesiones y ocupaciones, desconocidas hasta hace nada, que llevan nombres como proyecto de sistemas, análisis de sistemas, ingeniería de sistemas y así por el estilo. Constituyen el meollo de una tecnología y una tecnocracia nuevas; quienes las ejercen son los «nuevos utopistas» de nuestro tiempo (Boguslaw, 1965), quienes —en contraste con la cepa clásica, cuyas ideas no salían de entre las cubiertas de los libros— están creando un mundo nuevo, feliz o no.

Las raíces de este proceso son complejas. Por un lado está el tránsito desde la ingeniería energética —la liberación de grandes cantidades de energía, así en las máquinas de vapor o eléctricas— hasta la ingeniería de control, que dirige procesos mediante artefactos de baja energía y que ha conducido a las computadoras y la automación. Han aparecido máquinas que se autocontrolan, del humilde termostato doméstico a los proyectiles autoguiados de la Segunda Guerra Mundial, y de ahí a los proyectiles inmensamente

perfeccionados de hoy. La tecnología ha acabado pensando no ya en términos de máquinas sueltas sino de «sistemas». Una máquina de vapor, un automóvil o un receptor de radio caían dentro de la competencia del ingeniero adiestrado en la respectiva especialidad. Pero cuando se trata de proyectiles o de vehículos espaciales, hay que armarlos usando componentes que proceden de tecnologías heterogéneas: mecánica, electrónica, química, etc.; empiezan a intervenir relaciones entre hombre y máquina, y salen al paso innumerables problemas financieros, económicos, sociales y políticos. O bien el tráfico aéreo, o incluso automóvil, no es sólo cosa del número de vehículos en funcionamiento sino que son sistemas que hay que planear o disponer. Así vienen surgiendo innumerables problemas en la producción, el comercio y los armamentos.

Se hizo necesario, pues, un «enfoque de sistemas». Dado un determinado objetivo, encontrar caminos o medios para alcanzarlo requiere que el especialista en sistemas (o el equipo de especialistas) considere soluciones posibles y elija las que prometen optimización, con máxima eficiencia y mínimo costo en una red de interacciones tremendamente compleja. Esto requiere técnicas complicadas y computadoras para resolver problemas que van muchísimo más allá de los alcances de un matemático. Tanto el *hardware* («quincalla» se ha dicho en español) de las computadoras, la automación y la cibernación, como el *software* de la ciencia de los sistemas, representan una nueva tecnología que ha sido llamada Segunda Revolución Industrial y sólo lleva unas décadas desenvolviéndose.

Esta situación no se ha limitado al complejo industrial-militar. Los políticos suelen pedir que se aplique el «enfoque de sistemas» a problemas apremiantes, tales como la contaminación del aire y el agua, la congestión de tráfico, la plaga urbana, la delincuencia juvenil y el crimen organizado, la planeación de ciudades (Wolfe, 1967), etc., y hablan de este «nuevo concepto revolucionario» (Carter, 1966; Boffey, 1967). Un primer ministro canadiense (Manning, 1967) inserta el enfoque de sistemas en su plataforma política:

> ...existe una interrelación entre todos los elementos y constituyentes de la sociedad. Los factores esenciales en los problemas, puntos, políticas y programas públicos deben ser siempre considerados y evaluados como componentes interdependientes de un sistema total.

Semejante evolución no pasaría de ser otra de las numerosas facetas de cambio en nuestra sociedad tecnológica contemporánea,

si no fuera por un factor significativo fácil de ser pasado por alto en las técnicas tan sutiles y forzosamente especializadas de la ciencia de la computación, la ingeniería de sistemas y campos afines. No sólo está la tendencia, en la tecnología, a hacer cosas mayores y mejores (o, si no, más provechosas, destructivas, o todo a la vez), sino que hay un cambio en las categorías básicas del pensamiento, del cual las complejidades de la tecnología moderna no pasan de ser una manifestación, acaso ni la más importante. De uno u otro modo estamos forzados a vérnoslas con complejidades, con «totalidades» o «sistemas», en todos los campos del conocimiento. Esto implica una fundamental reorientación del pensamiento científico.

No sería factible tratar de resumir la repercusión de los «sistemas», lo cual, por lo demás, dejaría fuera las consideraciones de este libro. Tendrán que bastar unos cuantos ejemplos, elegidos más o menos arbitrariamente, a fin de bosquejar la naturaleza del problema y la consiguiente reorientación. El lector dispensará el toque egocéntrico en las citas, ya que el propósito del libro es presentar el punto de vista del autor y no reseñar el campo con neutralidad.

Es bien sabido que en física se han dado enormes pasos en las últimas décadas, lo cual ha generado también problemas nuevos —o quizás un nuevo tipo de problema—, tal vez más evidentes para el lego en el número indefinido —van centenares— de partículas elementales, de la que la física al presente puede dar poca razón. Según un experto destacado (De-Shalit, 1966), el ulterior progreso de la física nuclear «requiere mucha labor experimental, así como el surgimiento de más métodos poderosos para manejar sistemas de partículas numerosas, pero no infinitas». A. Szent-Györgyi (1964), el gran fisiólogo, expresó con humor la misma ambición:

> [Cuando me agregué al Institute for Advanced Study of Princeton] lo hice con la esperanza de que codeándome con aquellos grandes físicos atómicos y matemáticos aprendería algo acerca de las cosas vivas. Pero en cuanto revelé que en cualquier sistema vivo hay más de dos electrones, los físicos no quisieron oír más. Con todas sus computadoras, no podían decir qué haría el tercer electrón. Lo notable es que éste lo sabe exactamente, así que el pequeño electrón sabe algo que ignoran todos

los sabios de Princeton, por lo cual tiene que ser algo muy sencillo.

Y Bernal (1957) formuló de este modo el problema aún no resuelto:

> Nadie que conozca las dificultades de ahora se figura que la crisis de la física seguramente se resuelva merced a algún simple truco o modificación de las teorías existentes. Es preciso algo radical, que habrá de llegar mucho más allá de la física. Está siendo forjada una nueva visión del mundo, pero serán precisas mucha experiencia y mucha controversia antes de que adquiera forma definitiva. Tendrá que ser coherente, que incluir y esclarecer el nuevo conocimiento de las partículas fundamentales y sus complejos campos, que resolver la paradoja de la onda y la partícula, deberá hacer igualmente inteligibles el mundo interior del átomo y los vastos espacios del universo. Deberá tener una dimensión distinta de todas las visiones del mundo previas, e incluir una explicación del desarrollo y el origen de cosas nuevas. Con ello se acoplará naturalmente a las tendencias convergentes de las ciencias biológicas y sociales, donde una pauta regular se trenza con su historia evolutiva.

El triunfo de la biología molecular en años recientes, el «desciframiento» del código (o clave) genético, y los consiguientes logros en genética, evolución, medicina, fisiología celular y muchos otros campos, es ya lugar común. Pero a pesar del discernimiento ahondado que alcanza la biología «molecular» —o acaso en virtud de él—, es manifiesta la necesidad de una biología «organísmica», según el presente autor lo llevaba sosteniendo unos 40 años. La biología no sólo tiene que ocuparse del nivel fisicoquímico o molecular, sino de los niveles superiores de organización viva también. Tal como discutiremos más adelante (p. 10), esta exigencia se ha planteado con renovado vigor, en vista de recientes hechos y conocimientos, pero difícilmente se habrá agregado un argumento que no hubiera sido discutido antes (von Bertalanffy, 1928a, 1932, 1949a, 1960).

Por otro lado, en psicología la concepción básica solía ser el «modelo robot». Había que explicar la conducta con el esquema mecanicista estímulo-respuesta (E-R); el condicionamiento, acorde con la pauta del experimento con animales, aparecía como funda-

mento de la conducta humana; tenía que reemplazarse el «significado» por la respuesta condicionada, que negarse la especificidad del comportamiento humano, etc. La psicología de la *Gestalt* fue la primera en enfrentarse al esquema mecanicista hace cosa de medio siglo. Más recientemente se han visto muchos intentos encaminados a una «imagen del hombre» más satisfactoria, y el concepto de sistema va ganando importancia (cap. VIII); Piaget, por ejemplo, «vinculó expresamente sus conceptos a la teoría general de los sistemas de Bertalanffy» (Hahn, 1967).

Quizás aun más que la psicología, la psiquiatría ha adoptado el punto de vista de los sistemas (p. ej. Menninger, 1963; von Bertalanffy, 1966; Grinker, 1967; Gray *et al.*, en prensa). Citemos a Grinker:

> De las teorías llamadas globales, la que primero enunció y definió Bertalanffy en 1947 con el nombre de «teoría general de los sistemas» ha prendido... Desde entonces ha afinado, modificado y aplicado sus conceptos, establecido una sociedad dedicada a la teoría general de los sistemas y publicado un *General Systems Yearbook*. Muchos científicos sociales pero sólo un puñado de psiquiatras estudiaban, entendían o aplicaban la teoría de los sistemas. De pronto, bajo la guía del doctor William Gray, de Boston, se alcanzó un umbral, la reunión anual 122 de la American Psychiatric Association dedicó dos sesiones, en 1966, a la discusión de esta teoría, y se dispuso que en adelante hubiera reuniones regulares de psiquiatras para desarrollar esta «teoría unificada del comportamiento humano». De existir la tercera revolución (después de la psicoanalítica y la conductista), reside en el desenvolvimiento de una teoría general (p. IX).

El informe de una reciente reunión (American Psychiatric Association, 1967) pinta un vívido cuadro:

> Cuando una sala para 1500 personas está atiborrada al punto de que hay cientos en pie durante una sesión matutina entera, el tema debe de interesar de veras al auditorio. Tal fue la situación en el simposio sobre el uso de una teoría general de los sistemas en psiquiatría, celebrado dentro de la reunión de la American Psychiatric Association en Detroit. (Damude, 1967.)

Lo mismo pasa en las ciencias sociales. Del vasto espectro, la extendida confusión y las contradicciones de las teorías sociológicas contemporáneas (Sorokin, 1928, 1966) emerge una conclusión segura: que los fenómenos sociales deben ser considerados en términos de «sistemas» —por difícil y hoy en día fluctuante que sea la definición de entidades socioculturales.

> Hay un panorama científico revolucionario [derivado] del movimiento de investigación general de los sistemas, [con un] cúmulo de principios, ideas y ahondamientos que ya han establecido un grado superior de orden y de comprensión científicos en muchas áreas de la biología, la psicología y algunas ciencias físicas... La moderna investigación de los sistemas puede servir de base a un marco más adecuado para hacer justicia a las complejidades y propiedades dinámicas del sistema sociocultural. (Buckley, 1967.)

El curso de los acontecimientos en nuestros tiempos sugiere una concepción análoga en la historia, incluyendo la consideración de que, después de todo, la historia es sociología haciéndose, estudiada «longitudinalmente». Son las mismas entidades socioculturales las que la sociología investiga en su estado presente y la historia en su devenir.

En otros tiempos puede haber servido de consuelo echar la culpa de atrocidades y estupideces a malos reyes, pérfidos dictadores, la ignorancia, la superstición, las carencias materiales y cosas así. Por ello la historia era del estilo «quién-hizo-qué»: «idiográfica» es el término técnico. Así, la Guerra de los Treinta años fue consecuencia de la superstición religiosa y de las rivalidades de los príncipes alemanes; Napoleón puso a Europa de cabeza en virtud de su ambición desmedida; la Segunda Guerra Mundial se debió a la perversidad de Hitler y a la proclividad bélica de los alemanes.

Hemos perdido este bienestar intelectual. En condiciones de democracia, instrucción universal y abundancia general, aquellas excusas de las atrocidades humanas fracasan miserablemente. Al contemplar cómo se hace la historia contemporánea, resulta difícil adscribir su irracionalidad y bestialidad a individuos nada más (a menos que les otorguemos una capacidad sobrehumana —o subhumana— para la maldad y la estupidez). Más bien parecemos víctimas de «fuerzas históricas»; sea lo que fuere lo que esto quiera decir. Los acontecimientos parecen envolver algo más que

las decisiones y acciones individuales, y estar determinados más bien por «sistemas» socioculturales, trátese de prejuicios, ideologías, grupos de presión, tendencias sociales, el crecimiento y la decadencia de civilizaciones y quién sabe cuánto más. Sabemos científica y precisamente cuáles van a ser los efectos de la contaminación, el despilfarro de los recursos naturales, la explosión demográfica, la carrera armamentista, etc. Cada día nos los repiten incontables críticos que esgrimen argumentos irrefutables. Pero ni los guías nacionales ni la sociedad en conjunto parecen en condiciones de hacer nada por remediarlo. Si no queremos una explicación teísta —*quem Deus perdere vult dementat*—, parecemos seguir alguna trágica necesidad histórica.

Aun apreciando la vaguedad de conceptos como el de civilización y las limitaciones de «grandes teorías» como las de Spengler y Toynbee, la cuestión de las regularidades o leyes en los sistemas socioculturales tiene sentido aunque esto no implique por fuerza la inevitabilidad histórica según Sir Isaiah Berlin. Un panorama histórico como el que McNeill intituló *The Rise of the West* (1963), subrayando desde el título su posición antispengleriana, no deja de ser, con todo, una exposición de sistemas históricos. Semejante concepción invade campos que se dirían aparte, de modo que la «escuela arqueológica 'de proceso'» se dice «surgida del armazón debido a Ludwig von Bertalanffy para el caso del embrión en desarrollo, en el cual los sistemas desencadenan el comportamiento en coyunturas críticas y, luego de hacerlo, no pueden retornar a su pauta de origen» (Flannery, 1967).

En tanto que la sociología (y presumiblemente la historia) trata de organizaciones informales, otro adelanto reciente es la teoría de las organizaciones formales, o sea de estructuras escrupulosamente instituidas, tales como el ejército, la burocracia, las empresas de negocios, etc. Esta teoría está «enmarcada en una filosofía que acepta la premisa de que el único modo significativo de estudiar la organización es estudiarla como sistema», y el análisis de sistemas trata de la «organización como sistema de variables mutuamente dependientes»; de ahí que «la moderna teoría de la organización conduzca casi inevitablemente a una discusión de la teoría general de los sistemas» (Scott, 1963). En palabras de alguien que practica la investigación operacional:

En las últimas décadas hemos asistido al surgimiento

> del «sistema» como concepto clave en la investigación científica. Ni que decir tiene, desde hace siglos que se estudian sistemas, pero ha sido agregado algo nuevo... La tendencia a estudiar sistemas como entidades más que como conglomerados de partes es congruente con la tendencia de la ciencia contemporánea a no aislar ya fenómenos en contextos estrechamente confinados sino, al contrario, abrir interacciones para examinarlas y examinar segmentos de la naturaleza cada vez mayores. Bajo la bandera de *investigación de sistemas* (y sus abundantes sinónimos) hemos presenciado también la convergencia de muchos más adelantos científicos especializados contemporáneos... Esta indagación, como tantas otras, está imbricada en un esfuerzo cooperativo que abarca una gama creciente de disciplinas científicas y de ingeniería. Participamos en un esfuerzo —acaso el más vasto hasta la fecha— por alcanzar una síntesis del conocimiento científico. (Ackoff, 1959.)

De esta manera se cierra el círculo y volvemos a los avances de la sociedad tecnológica contemporánea de los cuales partimos. Lo que se deduce de estas consideraciones —por esbozadas y superficiales que sean— es que en las ciencias modernas y las nuevas conceptualizaciones de la vida hacen falta nuevas ideas y categorías, las cuales, de una u otra manera, giran en torno al concepto de «sistema». Para variar, citemos a un autor soviético:

> La elaboración de métodos específicos para la investigación de sistemas es una tendencia general del conocimiento científico de hoy, al igual que la ciencia del XIX se caracterizaba por la concentración primaria de la atención en la elaboración de formas y procesos elementales de la naturaleza. (Lewada, en Hahn, 1967, p. 185.)

Los peligros de semejante tendencia son evidentes, por desgracia, y han sido expuestos a menudo. Según el psicoterapeuta Ruesch (1967), al nuevo mundo cibernético no le importa la gente sino los «sistemas»; el hombre se vuelve reemplazable y gastable. Para los nuevos utopistas de la ingeniería de sistemas, por repetir una frase de Boguslaw (1965), precisamente es el «elemento humano» el componente inconfiable de sus creaciones. O bien se elimina del todo, sustituyéndolo por el *hardware* de computadoras, maquinaria autorregulada y así por el estilo, o bien hay que hacerlo tan

confiable como se pueda: mecanizado, conformista, controlado y estandarizado. Dicho con términos algo más ásperos, en el Gran Sistema el hombre ha de ser —y en gran medida lo es ya— un retrasado mental que oprime botones, o un idiota informado —quiere decirse—: adiestrado en alguna especialidad limitada, pero por lo demás simple parte de la máquina. Esto concuerda con un bien conocido principio de sistemas, el de la mecanización progresiva; el individuo se convierte cada vez más en un engranaje dominado por unos pocos guías privilegiados, mediocres y chanchulleros, que persiguen sus intereses privados tras la cortina de humo de las ideologías (Sorokin, 1966, pp. 558*ss*).

Ya contemplemos la expansión positiva del conocimiento y el control benéfico del medio y la sociedad, ya veamos en el movimiento de los sistemas la llegada del *Mundo feliz* y de *1984*, el hecho es que esto merece estudio intenso, y con él tenemos que vernos.

En torno a la historia de la teoría de los sistemas

Hemos visto ya que en todos los campos principales —de la física subatómica a la historia— reina el consenso acerca de la oportunidad de una reorientación de la ciencia. Hay progresos de la tecnología moderna paralelos a esta tendencia.

Por lo que alcanza a averiguarse, la idea de una «teoría general de los sistemas» fue primero introducida por el presente autor, antes de la cibernética, la ingeniería de sistemas y el surgimiento de campos afines. Más adelante quedará expuesto (pp. 92 *ss*) cómo se vio llevado a ello, pero en vista de discusiones recientes parece indicada cierta ampliación.

Como pasa con toda nueva idea, en la ciencia o donde sea, el concepto de sistemas tiene una larga historia. Si bien el término «sistema» como tal no mereció hincapié, la historia del concepto incluye muchos nombres ilustres. Como «filosofía natural» podemos remontarlo a Leibniz; a Nicolás de Cusa con su coincidencia de los opuestos; a la medicina mística de Paracelso; a la visión de la historia, de Vico e Ibn-Kaldun, como sucesión de entidades o «sistemas» culturales; a la dialéctica de Marx y Hegel —por mencionar unos cuantos nombres de una rica panoplia de pensadores. El conocedor literario podrá recordar *De ludo globi* (1463; cf. Bertalanffy, 1928b) de Nicolás de Cusa, y el *Glasperlenspiel*

de Hermann Hesse: ambos ven el andar del mundo reflejado en un juego abstracto, agudamente planeado.

Hubo una que otra obra preliminar en el terreno de la teoría general de los sistemas. Las «*Gestalten* físicas» de Köhler (1924) apuntaban en esta dirección pero no encaraban el problema con generalidad plena y restringían el tratamiento a *Gestalten* en física (y a fenómenos biológicos y psicológicos presumiblemente interpretables sobre esta base). En una publicación posterior (1927), Köhler planteó el postulado de una teoría de los sistemas encaminada a elaborar las propiedades más generales de los sistemas inorgánicos, en comparación con los orgánicos; hasta cierto punto, al encuentro de esta exigencia salió la teoría de los sistemas abiertos. La obra clásica de Lotka (1925) fue la que más cerca llegó del objetivo, y le debemos formulaciones fundamentales. La verdad es que Lotka se ocupó de un concepto general de los sistemas (sin restringirse, como Köhler a sistemas de la física). Como era estadístico, sin embargo, interesado en problemas de poblaciones más bien que en problemas biológicos de organismos individuales, Lotka —cosa algo rara— concibió las comunidades como sistemas, sin dejar de ver en el individuo una suma de células.

No obstante, la necesidad y factibilidad de un enfoque de sistemas no fue evidente hasta hace poco. Resultó por necesidad del hecho de que el esquema mecanicista de vías causales aislables y el tratamiento merista resultaban insuficientes para enfrentarse a problemas teóricos, especialmente en las ciencias biosociales, y a los problemas prácticos planteados por la tecnología moderna. Su factibilidad quedó en claro gracias a distintos adelantos —teóricos, epistemológicos, matemáticos, etc.— que, aunque aún entre balbuceos, lo volvieron progresivamente realizable.

A principios de la tercera década del siglo, quien esto escribe se sentía desconcertado ante vacíos evidentes en la investigación y la teoría biológicas. El enfoque mecanicista entonces imperante y que acaba de ser mencionado parecía desdeñar, si no es que negar activamente, lo que es, ni más ni menos, esencial en los fenómenos de la vida. El autor abogó por una concepción organísmica en biología que hiciera hincapié en la consideración del organismo como un todo o sistema y viese el objetivo principal de las ciencias biológicas en el descubrimiento de los principios de organización a sus diversos niveles. Los primeros enunciados del autor datan de 1925-26, y la filosofía del «mecanicismo orgánico» de Whitehead

fue publicada en 1925. Las labores de Cannon sobre la homeostasia aparecieron en 1929 y 1932. La concepción organísmica tuvo un gran precursor en Claude Bernard, pero la obra de éste casi no fue conocida fuera de Francia, y aún hoy sigue esperando ser cabalmente apreciada (cf. Bernal, 1957, p. 960). La aparición simultánea de ideas similares, independientemente y en diferentes continentes, fue sintomática de una nueva tendencia que, sin embargo, requeriría tiempo para ser aceptada.

Lo que incita a estas observaciones es el hecho de que en años recientes han vuelto a insistir en la «biología organísmica» eminentes biólogos estadounidenses (Dubos, 1964, 1967; Dobzhansky, 1966; Commoner, 1961), sin citar, no obstante, las labores muy anteriores de quien esto escribe, por mucho que sean debidamente reconocidas en la bibliografía europea y de los países socialistas (p. ej. Ungerer, 1966; Blandino, 1960; Tribiño, 1946; Kanaev, 1966; Kamarýt, 1961, 1963; Bendmann, 1963, 1967; Afanasjew, 1962). Puede afirmarse de plano que discusiones recientes (p. ej. Nagel, 1961; Hempel, 1965; Beckner, 1959; Smith, 1966; Schaffner, 1967), aunque refiriéndose por supuesto a adelantos de la biología durante los últimos 40 años, no han agregado ningún nuevo punto de vista en comparación con el trabajo del presente autor.

En filosofía, la formación del autor siguió la tradición del neopositivismo del grupo de Moritz Schlick, posteriormente llamado Círculo de Viena. Pero, como tenía que ser, su interés en el misticismo alemán, el relativismo histórico de Spengler y la historia del arte, aunado a otras actitudes no ortodoxas, le impidió llegar a ser un buen positivista. Eran más fuertes sus lazos con el grupo berlinés de la Sociedad de Filosofía Empírica en los años veintitantos; allí descollaban el filósofo-físico Hans Reichenbach, el psicólogo A. Herzberg, el ingeniero Parseval (inventor del dirigible).

En conexión con trabajos experimentales acerca del metabolismo y el crecimiento, por una parte, y con un esfuerzo por concretar el programa organísmico, por otra, fue adelantada la teoría de los sistemas abiertos, fundada en el hecho bastante trivial de que el organismo resulta ser uno de ellos, si bien por aquel entonces no había teoría. La primera presentación, luego de uno que otro intento, figura en este volumen como capítulo v. De suerte que la biofísica parecía requerir una expansión de la teoría física acostumbrada, por el rumbo de la generalización de los principios

cinéticos y de la teoría termodinámica, la cual más tarde sería conocida como termodinámica irreversible.

Quedó de manifiesto entonces otra generalización. En muchos fenómenos biológicos, pero también de las ciencias sociales y del comportamiento, resultan aplicables expresiones y modelos matemáticos. Evidentemente, no es cosa de las entidades de la física y la química, y en este sentido trascienden la física como parangón de «ciencia exacta». (Dicho sea de paso, el autor inició una serie, *Abhandlungen zur exakten Biologie*, para suceder a las *Abhandlungen zur theoretischen Biologie* de Schaxel, pero hubo que suspenderlas por la guerra.) La similitud estructural entre semejantes modelos y su isomorfismo en diferentes campos se tornaron ostensibles, y en el centro quedaron precisamente problemas de orden, organización, totalidad, teleología, etc., excluidos programáticamente de la ciencia mecanicista. Tal fue, la idea de la «teoría general de los sistemas».

Los tiempos no eran favorables. La biología era tenida por idéntica al trabajo de laboratorio, y el autor entró en un limbo al publicar su *Theoretische Biologie* (1932), otro campo que no hace mucho pasó a ser académicamente respetable. Hoy por hoy, cuando hay tantas revistas y publicaciones de esta disciplina y la elaboración de modelos se ha convertido en pasatiempo bien visto y generosamente patrocinado, no es fácil imaginar la resistencia a aquellas ideas. La afirmación del concepto de la teoría general de los sistemas, especialmente por el difunto profesor Otto Pötzl, psiquiatra de Viena bien conocido, ayudó al autor a superar sus inhibiciones y preparar un escrito (reproducido como capítulo III de este libro). Una vez más intervino el destino. El artículo (en la *Deutsche Zeitschrift für Philosophie)* fue leído en pruebas, pero el número que lo traía quedó destruido en la catástrofe de la última guerra. Pasada ésta, la teoría general de los sistemas fue presentada en conferencias (cf. Apéndice), ampliamente discutida con físicos (von Bertalanffy, 1948a) y en pláticas y coloquios (p. ej. von Bertalanffy *et al.*, 1951).

La propuesta de la teoría de los sistemas fue recibida con incredulidad, por fantástica o presuntuosa. O bien —decían— era *trivial*, por no ser los llamados isomorfismos sino meros ejemplos del hecho palmario de resultar aplicables las matemáticas a toda suerte de cosas, lo cual no llevaba a mayor «descubrimiento» que la aplicabilidad de $2+2=4$ a manzanas, dineros y galaxias por igual;

o bien era *falsa* y *equívoca*, en vista de que analogías superficiales —como en la famosa comparación de la sociedad con un «organismo»— disimulan diferencias genuinas y conducen así a conclusiones erradas y hasta moralmente objetables. Para otros, en fin, era filosófica y metodológicamente *inválida* porque la pretendida «irreductibilidad» de niveles superiores a inferiores tendía a impedir una indagación analítica cuyo éxito era evidente en varios campos, como la reducción de la química a principios físicos, o de los fenómenos de la vida a la biología molecular.

Gradualmente fue viéndose que tales objeciones no atinaban con lo que representa la teoría de los sistemas: intentar la interpretación y la teoría científicas donde antes no había nada de ello, así como mayor generalidad que en las ciencias especiales. La teoría general de los sistemas respondía a una secreta tendencia en varias disciplinas. Una carta del economista K. Boulding, fechada en 1953, resumió bien la situación:

> He llegado casi casi a la misma conclusión que usted, aunque partiendo del rumbo de la economía y las ciencias sociales, y no de la biología: que hay un cuerpo de lo que vengo llamando «teoría empírica general», o «teoría general de los sistemas» —por usar su excelente terminología—, de amplia aplicabilidad a muy diversas disciplinas. Estoy seguro de que mucha gente en el mundo ha llegado a posiciones esencialmente iguales a la nuestra, pero están muy dispersos y no se conocen: así de difícil es cruzar los límites entre las disciplinas.

Durante el primer año del Center for Advanced Study in the Behavioral Sciences (Palo Alto), se encontraron Boulding, el biomatemático A. Rapoport, el fisiólogo Ralph Gerard y el presente autor. En la reunión anual de la American Association for the Advancement of Science de 1954 cuajó el proyecto de una sociedad dedicada a la teoría general de los sistemas. El nombre fue cambiado luego por el menos presuntuoso de Sociedad para la Investigación General de Sistemas, afiliada ahora a la AAAS y cuyas reuniones son muy concurridas en las convenciones de la AAAS. Fueron establecidos grupos locales de la Sociedad en varios centros, primero de Estados Unidos, luego de Europa. El programa original de la Sociedad no necesitó revisión:

> La Sociedad para la Investigación General de Sistemas fue organizada en 1954 para impulsar el desarrollo de sistemas teóri-

cos aplicables a más de uno de los compartimientos tradicionales del conocimiento. Sus funciones principales son: *1*) investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos, y fomentar provechosas transferencias de un campo a otro; *2*) estimular el desarrollo de modelos teóricos adecuados en los campos que carecen de ellos; *3*) minimizar la repetición de esfuerzo teórico en diferentes campos; *4*) promover la unidad de la ciencia mejorando la comunicación entre especialistas.

Los anuarios de la sociedad, *General Systems*, bajo la eficiente redacción de A. Rapoport, le han servido de órgano desde entonces. *General Systems*, intencionalmente, no sigue una política rígida sino que publica trabajos que difieren en intención, según parece convenir a un campo necesitado de ideas y exploración. Numerosas investigaciones y publicaciones sustanciaron la tendencia en varios campos; apareció una revista, *Mathematical Systems Theory*.

Mientras tanto hubo otro progreso. *Cybernetics* de Norbert Wiener apareció en 1948, como resultado de los adelantos entonces recientes en la tecnología de las computadoras, la teoría de la información y las máquinas autorreguladas. Otra vez se dio una coincidencia de las que se presentan cuando hay ideas en el aire: aparecieron casi al mismo tiempo tres contribuciones fundamentales, la *Cybernetics* de Wiener (1948), la teoría de la información de Shannon y Weaver (1949) y la teoría de los juegos de von Neumann y Morgenstern (1947). Wiener llevó los conceptos de cibernética, retroalimentación e información mucho más allá de los campos de la tecnología, y los generalizó en los dominios biológico y social. Es verdad que la cibernética no careció de precursores. El concepto de homeostasia debido a Cannon fue piedra angular en estas consideraciones. Menos conocidos modelos detallados de fenómenos fisiológicos con retroalimentación habían sido elaborados en la tercera década por el fisiólogo alemán Richard Wagner (1954), por el laureado Nobel suizo W. R. Hess (1941, 1942), y en el *Rafferenzprinzip* de von Holst. La enorme popularidad de la cibernética en la ciencia, la tecnología y la publicidad general se debe, ni que decir tiene, a Wiener, con su proclamación de la Segunda Revolución Industrial.

La estrecha correspondencia entre los dos movimientos queda de manifiesto en un enunciado programático de L. Frank, abriendo una conferencia de cibernética:

Los conceptos de conducta intencional y de *teleología* se han asociado por largo tiempo a una misteriosa capacidad autoperfectiva o buscadora de metas, o causa final, ordinariamente de origen sobrehumano o sobrenatural. Para adelantar en el estudio de los aconteceres, el pensamiento científico tuvo que rechazar semejantes creencias en el propósito y en conceptos de operaciones teleológicas, en favor de una visión estrictamente mecanicista y determinista de la naturaleza. Esta concepción mecanicista quedó firmemente establecida con la demostración de que el universo se basaba en la operación de partículas anónimas que se movían al azar, de modo desordenado, generando, con su multiplicidad, orden y regularidad de naturaleza estadística, como en la física clásica y las leyes de los gases. El triunfo irrebatible de tales conceptos y métodos en física y astronomía, y luego en química, dio a la biología y la fisiología su orientación preponderante. Este enfoque de los problemas de los organismos fue reforzado por los afanes analíticos de la cultura y los lenguajes de la Europa occidental. Los supuestos básicos de nuestras tradiciones y las persistentes implicaciones del lenguaje que usamos, casi nos fuerzan a abordar todo lo que estudiamos como si estuviera compuesto de partes o *factores* separados, discretos, que debemos tratar de aislar e identificar como causas potentes. De ahí derivamos nuestra preocupación por el estudio de la relación entre dos variables. Somos hoy testigos de una búsqueda de nuevos enfoques, de conceptos nuevos y más amplios y de métodos capaces de vérselas con grandes conjuntos de organismos y personalidades. El concepto de mecanismo teleológico, sin importar cómo pueda ser expresado en términos diferentes, puede verse como un intento de escapar de estas viejas formulaciones mecanicistas que hoy resultan inadecuadas, y de presentar nuevas y fecundas concepciones y metodologías más efectivas para estudiar los procesos de autorregulación, los sistemas y organismos con autoorientación y las personalidades que se autodirigen. Así, expresiones como *retroalimentación*, *servomecanismos*, *sistemas circulares* y *procesos circulares* pueden ser tomadas como expresiones distintas pero en gran medida equivalentes de la misma concepción. (Frank *et al.*, 1948, condensado.)

Reseñar el desarrollo de la *cibernética* en la tecnología y la

ciencia sería salir de los alcances de este libro, además de ser innecesario, en vista de la rica bibliografía de este campo. A pesar de ello este repaso histórico no deja de ser oportuno en vista de ciertas equivocaciones e interpretaciones erradas. Así, Buckley (1967, p. 36) afirma que «la moderna teoría de los sistemas, aunque surgida al parecer *de novo* a partir del esfuerzo de la última guerra, puede verse como culminación de un vasto cambio de punto de vista, que llevaba unos siglos tratando de imponerse». La segunda parte del enunciado es cierta, mas no la primera; la teoría de los sistemas no surgió «del esfuerzo de la última guerra» sino que se remonta a mucho más atrás y tiene raíces muy distintas del *hardware* militar y cuestiones tecnológicas afines. Tampoco hay «emergência de la teoría de los sistemas a partir de recientes adelantos en el análisis de sistemas de ingeniería» (Shaw, 1965), excepto en un sentido especial de la palabra.

La teoría de los sistemas es también frecuentemente identificada con la cibernética y la teoría del control. Esto es asimismo incorrecto. La cibernética, como teoría de los mecanismos de control en la tecnología y la naturaleza, fundada en los conceptos de información y retroalimentación, no es sino parte de una teoría general de los sistemas; los sistemas cibernéticos son un caso especial —por importante que sea— de los sistemas que exhiben autorregulación.

Tendencias en la teoría de los sistemas

En tiempos en que cualquier novedad, por trivial que sea, es saludada llamándola revolucionaria, está uno harto de aplicar este rótulo a los adelantos científicos. En vista de que la minifalda y el cabello largo se designan como una revolución en la adolescencia, y cualquier nuevo modelo de automóvil o de potingue lanzado por la industria farmacéutica constituyen revoluciones también, la palabra es una muletilla publicitaria que no merece consideración seria. Puede, sin embargo, ser empleada en un sentido estrictamente técnico: las «revoluciones científicas» son identificables merced a ciertos criterios diagnósticos.

A la zaga de Kuhn (1962), una revolución científica es definida por la aparición de nuevos esquemas conceptuales o «paradigmas». Estos ponen en primer plano aspectos que anteriormente no eran vistos o percibidos, o por ventura ni suprimidos, en la ciencia «normal», es decir la ciencia aceptada y practicada generalmente en el tiempo en cuestión. Hay así un desplazamiento de la problemá-

tica advertida e investigada y un cambio en las reglas de la práctica científica, comparable a la mutación de *Gestalten* perceptuales en experimentos psicológicos en que, p. ej., la misma figura puede ser vista como dos caras y una taza o como un pato y un conejo. Es comprensible que en tales fases críticas se haga hincapié en el análisis filosófico, no sentido como necesario en períodos de crecimiento de la ciencia «normal». Las primeras versiones de un nuevo paradigma suelen ser toscas, resuelven pocos problemas, y las soluciones que dan a éstos distan de ser perfectas. Hay profusión y competencia de teorías, limitada cada una con respecto al número de problemas que cubre y resuelve con elegancia. Sin embargo, el nuevo paradigma abarca nuevos problemas, especialmente los que antes eran rechazados por «metafísicos».

Kuhn dedujo estos criterios del estudio de las revoluciones «clásicas» en física y química, pero describen de maravilla los cambios acarreados por los conceptos organísmico y de sistemas; además de dilucidar sus méritos y limitaciones. Especialmente, y no hay que sorprenderse, la teoría de los sistemas comprende un conjunto de enfoques que difieren en estilo y propósito.

El problema de los sistemas es esencialmente el problema de las limitaciones de los procedimientos analíticos en la ciencia. Esto solía ser expresado en enunciados semimetafísicos, como el de la evolución emergente y lo de que «el todo es más que la suma de sus partes», pero tiene un sentido operacional claro. «Proceder analítico» quiere decir que una entidad investigada es resuelta en partes unidas, a partir de las cuales puede, por tanto, ser constituida o reconstituida, entendiéndose estos procederes en sus sentidos tanto material como conceptual. Es éste el principio básico de la ciencia «clásica», que puede circunscribirse de diferentes modos: resolución en encadenamientos causales aislables, búsqueda de unidades «atómicas» en los varios campos de la ciencia, etc. El progreso de la ciencia ha mostrado que estos principios clásicos, que Galileo y Descartes fueron los primeros en enunciar, tienen éxito espléndido en variadísimos campos de fenómenos.

La aplicación del procedimiento analítico depende de dos condiciones. La primera es que no existan interacciones entre «partes», o que sean tan débiles que puedan dejarse a un lado en ciertas investigaciones. Sólo con esta condición es posible «deslindar» las partes —real, lógica y matemáticamente— y luego volverlas a «juntar». La segunda condición es que las relaciones que describan

el comportamiento de partes sean lineales; sólo entonces queda satisfecha la condición de aditividad, o sea que una ecuación que describa la conducta del total tiene la misma forma que las ecuaciones que describen la conducta de las partes; los procesos parciales pueden ser superpuestos para obtener el proceso total, etc.

Semejantes condiciones no las cumplen las entidades llamadas sistemas, o sea consistentes en partes «en interacción». El prototipo de su descripción es un conjunto de ecuaciones diferenciales simultáneas (pp. 56 *ss*), que son no lineales en el caso general. Puede ser circunscrito un sistema o «complejidad organizada» (p. 34) merced a la existencia de «interacciones fuertes» (Rapoport, 1966) o interacciones «no triviales» (Simon, 1965), es decir, no lineales. El problema metodológico de la teoría de los sistemas, pues, es vérselas con cuestiones que, comparadas con las analítico-aditivas de la ciencia clásica, son de naturaleza más general.

Como se ha dicho, hay varios enfoques para enfrentarse a tales problemas. Esto de los «enfoques» es intencionalmente vago, pues son lógicamente no homogéneos, representan distintos modelos conceptuales, técnicas matemáticas, puntos de vista generales, etc.; concuerdan, sin embargo, en ser «teorías de sistemas». Dejando aparte procederes de la investigación aplicada —así la ingeniería de sistemas, la investigación operacional, la programación lineal y no lineal, etc.—, los enfoques más importantes son éstos. (Para un buen resumen, cf. Drischel, 1968.)

La *teoría «clásica» de los sistemas* aplica matemáticas clásicas, o sea el cálculo infinitesimal. Aspira a enunciar principios aplicables a sistemas en general o a subclases definidas (p. ej. sistemas cerrados y abiertos), a proporcionar técnicas para su investigación y descripción, y aplicar éstas a casos concretos. En virtud de la generalidad de tal descripción, puede afirmarse que algunas propiedades formales serán aplicables a cualquier entidad *qua* sistema (o sistema abierto, o sistema jerárquico, etc.), aun cuando sus particulares naturaleza, partes, relaciones, etc. se desconozcan o no se investiguen. Hay entre los ejemplos principios generalizados de cinética aplicables, v. gr., a poblaciones de moléculas o entidades biológicas, o sea a sistemas químicos y ecológicos; la difusión, en las ecuaciones que la definen en fisicoquímica y en la difusión de rumores; la aplicación de modelos de estado uniforme o equilibrio dinámico (*steady state*) y de mecánica estadística al tráfico (Gazis, 1967); el análisis alométrico de sistemas biológicos y sociales.

Computerización y simulación. Los conjuntos de ecuaciones diferenciales simultáneas como camino hacia un «modelo» o una definición de un sistema son fastidiosos de resolver, si son lineales, hasta en el caso de pocas variables; de no serlo, no pueden resolverse salvo en casos especiales (cuadro 1.1). Por esta razón las computadoras han abierto un nuevo camino en la investigación de sistemas; no sólo facilitando cálculos que de otra suerte habrían requerido tiempo y energía excesivos y reemplazando el ingenio matemático por procedimientos rutinarios, sino también abriendo campos donde no existen teorías o modos de solución matemáticos. Es posible así computerizar sistemas que van más allá de las matemáticas ordinarias; por otro lado, experimentos realmente realizados en

Cuadro 1.1

Clasificación de problemas matemáticos* y su facilidad de solución por métodos analíticos. (Según Franks, 1967.)

	Ecuaciones lineales			*Ecuaciones no lineales*		
Ecuación	Una ecuación	Varias ecuaciones	Muchas ecuaciones	Una ecuación	Varias ecuaciones	Muchas ecuaciones
Algebraica	Trivial	Fácil	Casi imposible	Muy difícil	Muy difícil	Imposible
Diferenciales ordinarias	Fácil	Difícil	Casi imposible	Muy difícil	Imposible	Imposible
Diferenciales parciales	Difícil	Casi imposible	Imposible	Imposible	Imposible	Imposible

* Cortesía de Electronic Associates, Inc.

el laboratorio pueden ser sustituidos por simulación en computadora, y el modelo alcanzado ser verificado entonces con datos experimentales. De esta forma, por ejemplo, calculó B. Hess la cadena glicolítica celular, de catorce pasos, en un modelo de más de 100 ecuaciones diferenciales no lineales. Análisis similares son cosa de rutina en economía, investigación de mercados, etc.

Teoría de los compartimientos. Un aspecto de los sistemas que

puede ponerse aparte, en vista de la gran sutileza que alcanza dicho campo, es la teoría de los compartimientos (Rescigno y Segre, 1966): el sistema consiste en subunidades con ciertas condiciones de frontera, entre las cuales se dan procesos de transporte. Tales sistemas de compartimientos pueden tener, pongamos por caso, estructura «catenaria» o «mamilar» (cadena de compartimientos o compartimiento central en comunicación con múltiples periféricos). Es comprensible que las dificultades matemáticas se tornen prohibitivas en el caso de sistemas de tres o más componentes. El análisis resulta posible gracias a transformaciones de Laplace y a la introducción de la teoría de las redes y las gráficas.

Teoría de los conjuntos. Las propiedades formales generales de sistemas, sistemas cerrados y abiertos, etc. pueden ser axiomatizadas en términos de teoría de los conjuntos (Mesarovic, 1964; Maccia, 1966). En elegancia matemática este enfoque se compara favorablemente con las formulaciones más burdas y más especiales de la teoría «clásica» de los sistemas. Los nexos entre la teoría axiomatizada de los sistemas (o sus inicios actuales) y los problemas reales de sistemas son un tanto tenues.

Teoría de las gráficas. Muchos problemas de sistemas conciernen a sus propiedades estructurales o topológicas antes que a relaciones cuantitativas. Se dispone de más de un acceso al respecto. La teoría de las gráficas, en especial la de las gráficas dirigidas (digráficas), elabora estructuras relacionales representándolas en un espacio topológico. Ha sido aplicada a aspectos relacionales de la biología (Rashevsky, 1956, 1960; Rosen, 1960). Matemáticamente se vincula al álgebra de matrices; por el lado de los modelos, a la teoría de los sistemas por compartimientos son subsistemas parcialmente «permeables», y desde aquí a la teoría de los sistemas abiertos.

La *teoría de las redes,* a su vez, está ligada a las teorías de los conjuntos, las gráficas, los compartimientos, etc., y se aplica a sistemas tales como las redes nerviosas (p. ej. Rapoport, 1949-1950).

La *cibernética* es una teoría de los sistemas de control basada en la comunicación (transferencia de información) entre sistema y medio circundante, y dentro del sistema, y en el control (retroalimentación) del funcionamiento del sistema en consideración al medio. Según mencionamos y volveremos a discutir, el modelo tiene extensa aplicación pero no ha de identificarse con la «teoría de los sistemas» en general. En biología y otras ciencias básicas, el

modelo cibernético conviene para describir la estructura formal de mecanismos de regulación, p. ej. mediante diagramas de bloques y de flujo. Así se logra reconocer la estructura reguladora aun cuando los genuinos mecanismos permanezcan desconocidos y sin describir, y el sistema sea una «caja negra» definida sólo por entrada y salida. Por razones parecidas, el mismo esquema cibernético puede aplicarse a sistemas hidráulicos, eléctricos, fisiológicos, etc. La compleja y sutil teoría de los servomecanismos en tecnología ha sido trasladada sólo en grado limitado a sistemas naturales (cf. Bayliss, 1966; Kalmus, 1966; Milsum, 1966).

La *teoría de la información,* en el sentido de Shannon y Weaver (1949), se basa en el concepto de información, definido por una expresión isomorfa con la entropía negativa de la termodinámica. De ahí la esperanza de que la información sirva de medida de la organización (cf. p. 42; Quastler, 1955). En tanto que la teoría de la información ganó importancia en ingeniería de comunicaciones, sus aplicaciones a la ciencia no han llegado a ser muy convincentes (E. N. Gilbert, 1966). La relación entre información y organización, teoría de la información y termodinámica, sigue siendo un problema decisivo (cf. pp. 157 *ss*).

La *teoría de los autómatas* (ver Minsky, 1967) es la teoría de autómatas abstractos con entrada, salida y posiblemente ensayo-y-error y aprendizaje. Un modelo general es la máquina de Turing (1936). Expresado en su manera más simple,.un autómata de Turing es una máquina abstracta capaz de imprimir (o borrar) las marcas «l» y «O» en una cinta de longitud infinita. Es demostrable que cualquier proceso, de la complejidad que sea, puede ser simulado por una máquina, si este proceso es expresable mediante un número finito de operaciones lógicas. Todo lo que sea posible lógicamente (es decir, en un simbolismo algorítmico) también puede ser construido —en principio, aunque es claro que en modo alguno siempre en la práctica— por un autómata, o sea una máquina algorítmica.

La *teoría de los juegos* (von Neumann y Morgenstern, 1947) representa un enfoque diferente pero puede agregarse a las ciencias de sistemas por ocuparse del comportamiento de jugadores supuestamente «racionales» a fin de obtener ganancias máximas y pérdidas mínimas gracias a estrategias apropiadas contra el otro jugador (o la naturaleza). Tiene así que ver esencialmente con un «sistema» de «fuerzas» antagónicas con especificaciones.

La *teoría de la decisión* es una teoría matemática que se ocupa de elecciones entre posibilidades.

La *teoría de las colas* se ocupa de la optimización de disposiciones en condiciones de apiñamiento.

No homogénea e incompleta como es, mezclando modelos (p. ej. sistema abierto, circuito de retroalimentación) con técnicas matemáticas (p. ej. las teorías de los conjuntos, las gráficas, los juegos), semejante enumeración ayuda a mostrar que hay una serie de enfoques para investigar sistemas, incluyendo poderosos métodos matemáticos. El punto que debe reiterarse es que problemas no considerados antes, no abordables, o tenidos por extracientíficos o puramente filosóficos, van siendo explorados progresivamente.

No hay ni que decir que a menudo existe incongruencia entre modelo y realidad. Hay modelos matemáticos muy complicados y rebuscados, pero no deja de ser dudoso cómo podrán aplicarse al caso concreto; existen problemas fundamentales para los cuales no disponemos de técnicas matemáticas. Ha habido desencanto de esperanzas excesivas. La cibernética, pongamos por caso, demostró su repercusión no sólo en la tecnología sino en ciencias básicas, al proporcionar modelos para fenómenos concretos y traer fenómenos teleológicos —antes tabú— al ámbito de los problemas científicamente legítimos; mas no ofreció una explicación totalizante o gran «visión del mundo», por ser extensión más que reemplazamiento del punto de vista mecanicista y de la teoría de las máquinas (cf. Bronowski, 1964). La teoría de la información, tan desarrollada matemáticamente, resultó un chasco en psicología y sociología. La teoría de los juegos fue aplicada esperanzadamente a la guerra y la política, pero no se nota que haya conducido a mejoramiento de las decisiones políticas y del estado del mundo, fracaso no inesperado cuando se considera cuán poco se parecen las potencias a los jugadores «racionales» de la teoría de los juegos. Conceptos y modelos de equilibrio, homeostasia, ajuste, etc. convienen para el mantenimiento de sistemas, pero son inadecuados para fenómenos de cambio, diferenciación, evolución, neguentropía, producción de estados improbables, creatividad, establecimiento de tensiones, autorrealización, emergencia, etc. Ya Cannon lo advirtió al reconocer, junto a la homeostasia, una «heterostasia» que incluía fenómenos de las otras naturalezas. La teoría de los sistemas abiertos se aplica a una vasta gama de fenómenos en biología (y tecnología), pero hay que prevenir contra su expansión incauta a campos para los

cuales no son sus conceptos. Semejantes limitaciones y lagunas son de esperarse en un campo que apenas ha cumplido veinte o treinta años. En última instancia, el desencanto proviene de convertir lo que es un modelo útil hasta cierto punto en alguna realidad metafísica y en filosofía del «nada sino», como ha pasado tantas veces en la historia intelectual.

Las ventajas de los modelos matemáticos —no ambigüedad, posibilidad de deducción estricta, verificabilidad por datos observados— son bien conocidas. No quiere esto decir que modelos formulados en lenguaje ordinario hayan de ser desdeñados o rechazados.

Un *modelo verbal* es preferible a ninguno o a un modelo que, por poder ser formulado matemáticamente, es impuesto por la fuerza a la realidad y la falsifica. Teorías enormemente influyentes, como el psicoanálisis, no fueron matemáticas, o, como la teoría de la selección, su influencia llegó mucho más lejos que las construcciones matemáticas que no surgieron hasta después y cubren sólo aspectos parciales y una fracción pequeña de datos empíricos.

Las matemáticas significan esencialmente la existencia de un algoritmo mucho más preciso que el del lenguaje ordinario. La historia de la ciencia atestigua que la expresión en lenguaje ordinario a menudo precedió a la formulación matemática, a la invención de un algoritmo. Acuden en seguida ejemplos a las mientes: el paso de contar en palabras a los números romanos (semialgoritmo semiverbal y basto) y a la notación arábiga con valor posicional; ecuaciones, desde la formulación verbal hasta el rudimentario simbolismo manejado con virtuosismo (aunque para nosotros difícil de seguir) por Diofanto y otros fundadores del álgebra, y de ahí a la notación moderna; teorías como las de Darwin o de la economía, que no hallaron hasta más tarde formulación matemática (parcial). Quizá valga más tener primero algún modelo no matemático, con sus limitaciones, pero que exprese algún aspecto previamente inadvertido, en espera del surgimiento venidero de algún algoritmo apropiado, que partir de modelos matemáticos prematuros que calquen algoritmos conocidos y con ello acaso restrinjan el campo visual. Muchos adelantos en biología molecular, teoría de la selección, cibernética y otros campos exhibieron los efectos cegadores de lo que Kuhn llama ciencia «normal» —esquemas conceptuales monolíticamente aceptados.

Así los modelos en lenguaje ordinario tienen su sitio en la teoría de los sistemas. La idea de sistema conserva su valor incluso

donde no puede ser formulada matemáticamente, o no deja de ser una «idea guía» en vez de ser construcción matemática. Por ejemplo, podemos carecer de conceptos de sistema satisfactorios en sociología, pero la simple apreciación de que las entidades sociales son sistemas y no sumas de átomos sociales, o de que la historia consiste en sistemas (por mal definidos que estén) llamados civilizaciones y que obedecen a principios generales de los sistemas, implica una reorientación en los campos aludidos.

Tal como puede verse por el repaso anterior, dentro del «enfoque de sistemas» hay tendencias y modelos mecanicistas y organísmicos que tratan de dominar los sistemas ora por «análisis», «causalidad lineal» (incluyendo la circular), «autómatas», ora merced a «totalidad», «interacción», «dinámica» (o las palabras que se usen para circunscribir la diferencia). En tanto que estos modelos no se excluyen mutuamente y aun el mismo fenómeno sea abordable mediante diferentes modelos (conceptos «cibernéticos» o «cinéticos», p. ej.; cf. Locker, 1964), puede preguntarse qué punto de vista será el más general y fundamental. A grandes rasgos, es ésta una pregunta que hacer a la máquina de Turing como autómata general.

Una consideración oportuna (y no tratada, que sepamos, en la teoría de los autómatas) es el problema de los números «inmensos». El enunciado fundamental de la teoría de los autómatas es que los aconteceres que pueden definirse con un número finito de «palabras» son realizables por un autómata (p. ej. una red neural formal según McCulloch y Pitts, o una máquina de Turing) (von Neumann, 1951). La cuestión reside en el calificativo de «finito». El autómata puede, por definición, realizar una serie finita de acontecimientos (por larga que sea), pero no una infinita. Pero ¿y cuándo el número de pasos requerido es «inmenso», o sea no infinito pero superior, p. ej., al número de partículas del universo (estimado del orden de 10^{80}), o al de acontecimientos posibles en el alcance temporal del universo o alguna de sus subunidades (según la propuesta de Elsasser, 1966, un número cuyo logaritmo es un número grande)? Tales números inmensos aparecen en muchos problemas de sistemas con exponenciales, factoriales y otras funciones explosivamente crecientes. Surgen incluso en sistemas con número moderado de componentes que interactúen con fuerza (en grado no desdeñable) (cf. Ashby, 1964). Para «delinearlos» en una máquina de Turing haría falta una cinta de longitud «inmensa»: que excediera no sólo a las limitaciones prácticas sino a las físicas.

Considérese, como ejemplo sencillo, una gráfica dirigida de N puntos (Rapoport, 1959b). Entre cada par puede existir o no existir una flecha (dos posibilidades). Hay así $2^{N(N-1)}$ diferentes modos de conectar N puntos. Si N es sólo 5, hay más de un millón de maneras de conectar los puntos. Con $N = 20$, el número de modos es superior al que se estima que hay de átomos en el universo. Problemas similares surgen, p. ej., con las conexiones posibles entre neuronas (número estimado del orden de 10 000 millones en el cerebro humano) y con el código genético (Repge, 1962). En el código (o clave) hay un mínimo de 20 (en verdad hay 64) «palabras» (tripletes de nucleótidos) que codifican los 20 aminoácidos; el código llega a contener algunos millones de unidades. Esto da $20^{1\,000\,000}$ posibilidades. Imagínese que el espíritu laplaciano tuviera que hallar el valor funcional de cada combinación: habría que hacer otras tantas pruebas, pero sólo hay 10^{80} átomos y organismos en el universo. Supongamos (Repge, 1962) que en la Tierra hay presentes 10^{30} células en un momento determinado. Imaginando además una nueva generación celular cada minuto, con una edad del planeta de 15 000 millones de años (10^{16} minutos) habría 10^{46} células en total. Para obtener sin falta un número máximo, hagamos intervenir 10^{20} planetas portadores de vida. Con ello, en todo el universo no habría, de fijo, más de 10^{66} seres vivos —número grande pero lejos de ser «inmenso». Pueden hacerse estimaciones con diferentes supuestos (p. ej. número de proteínas o enzimas posibles), pero los resultados son a fin de cuentas los mismos.

Por otra parte, según Hart (1959) la invención humana puede ser concebida como nuevas combinaciones de elementos previamente existentes. De ser así, la oportunidad de nuevas invenciones aumentará más o menos en función del número de posibles permutaciones y combinaciones de elementos disponibles, lo cual quiere decir que su aumento será un factorial del número de elementos. Ahora, el ritmo de aceleración del cambio social se acelera a su vez, de suerte que en muchos casos no se dará en el cambio cultural una aceleración logarítmica sino *log-log*. Hart presenta interesantes curvas que muestran cómo incrementos en velocidad humana, en áreas de mortandad por armas, en expectativas de vida, etc., siguen de hecho semejante expresión: el ritmo de crecimiento cultural no es exponencial o de interés compuesto, sino superaceleración según una curva *log-log*. De manera general, aparecerán límites

a los autómatas si la regulación en un sistema no va dirigida contra una perturbación o una cantidad limitada de éstas, sino contra perturbaciones «arbitrarias», número indefinido de situaciones que no pudieran haber sido «previstas»; esto sucede mucho en la regulación embrionaria (p. ej. los experimentos de Driesch) y neural (p. ej. los experimentos de Lashley). Aquí la regulación resulta de la interacción entre muchos componentes (cf. la discusión de Jeffries, 1951, pp. 32*ss*). Esto, como reconoció el propio von Neumann, se diría vinculado a las tendencias «autorrestauradoras» de los sistemas organísmicos, en contraste con los tecnológicos; expresado en términos más modernos, vinculado a su naturaleza de sistemas abiertos, no prevista ni aun en el modelo abstracto de autómata que es la máquina de Turing.

Resulta, pues, que —según vitalistas como Driesch subrayaron hace mucho— la concepción mecanicista, inclusive tomada en la forma moderna y generalizada de un autómata de Turing, se desploma a fuerza de regulaciones después de perturbaciones «arbitrarias», y algo parecido acontece cuando el caso requiere un número de pasos «inmenso» en el sentido indicado. Aparecen problemas de realizabilidad, aun aparte de las paradojas inherentes a los conjuntos infinitos.

Las consideraciones anteriores incumben en particular a un concepto o complejo de conceptos que es de indubitable importancia para la teoría general de los sistemas: el de *orden jerárquico*. Hoy en día «vemos» el universo como una tremenda jerarquía, de las partículas elementales a los núcleos atómicos, átomos, moléculas, compuestos de molécula compleja, hasta la pléyade de estructuras (microscopía electrónica y óptica) que caen entre las moléculas y las células (Weiss, 1962b), luego células organismos y, más allá, organizaciones supraindividuales. Un esquema atractivo (aunque no el único) del orden jerárquico se debe a Boulding (cuadro 1.2.). Una jerarquía parecida surge tanto en «estructuras» como en «funciones». En última instancia, estructura (orden de partes) y función (orden de procesos) pudieran ser la mismísima cosa: en el mundo físico la materia se disuelve en un juego de energías, y en el mundo biológico las estructuras son expresión de una corriente de procesos. Actualmente, el sistema de las leyes físicas trata sobre todo del ámbito que hay entre átomos y moléculas (y su suma en la macrofísica), el cual evidentemente es una tajada de un espectro mucho más amplio. Las leyes y fuerzas de la organiza-

ción se conocen insuficientemente en los dominios subatómico y supermolecular. Hay accesos tanto al mundo subatómico (física de las altas energías) como al supermolecular (física de los compuestos de grandes moléculas), pero está claro que esto no es más que el principio. Resalta, por un lado, en la presente confusión de partículas elementales; por otro, en la actual carencia de comprensión física de las estructuras vistas al microscopio electrónico y en la ausencia de una «gramática» del código genético (cf. p. 159).

Es evidente que una teoría general del orden jerárquico será un pilar de la teoría general de los sistemas. Es posible enunciar principios de orden jerárquico en lenguaje verbal (Koestler, 1967; en prensa); hay ideas semimatemáticas (Simon, 1965) conectadas con la teoría de las matrices, y formulaciones en términos de lógica matemática (Woodger, 1930-31). En la teoría de las gráficas el orden jerárquico es expresado por el «árbol» y de esta manera llegan a ser representados aspectos relacionales de jerarquías. Pero el problema es mucho más amplio y hondo: la cuestión del orden jerárquico está íntimamente ligada a las de la diferenciación, la evolución y la medición de la organización, que no parecen expresadas como es debido ni en términos de energética (entropía negativa) ni de teoría de la información (*bits*) (cf. pp. 156 *ss*). A fin de cuentas, según se mencionó, el orden jerárquico y la dinámica pudieran ser lo mismo, como expuso Koestler tan bien en su símil de «The Tree and the Candle».

Hay, de este modo, una serie de modelos de sistemas, más o menos adelantados y complicados. Algunos conceptos, modelos y principios de la teoría general de los sistemas —como el orden jerárquico, la diferenciación progresiva, la retroalimentación, las características de sistemas definidas por las teorías de los conjuntos y las gráficas, etc.— son aplicables a grandes rasgos a sistemas materiales, psicológicos y socioculturales; otros, como el de sistema abierto definido por el intercambio de materia, se restringen a ciertas subclases. La práctica del análisis aplicado de sistemas muestra que habrá que aplicar diversos modelos, de acuerdo con la naturaleza del caso y con criterios operacionales.

Cuadro 1.2

Catálogo informal de niveles principales en la jerarquía de los sistemas. (Basado parcialmente en Boulding, 1956b.)

Nivel	Descripción y ejemplos	Teoría y modelos
Estructuras estáticas	Átomos, moléculas, cristales, estructuras biológicas, del nivel microscópico electrónico al macroscópico	P. ej. fórmulas estructurales de la química; cristalografía; descripciones anatómicas
Relojería	Relojes, máquinas ordinarias en general; sistemas solares	Física ordinaria, tal como las leyes de la mecánica (newtoniana y einsteiniana) y otras
Mecanismos de control	Termostato, servomecanismos, mecanismo homeostático en los organismos	Cibernética; retroalimentación y teoría de la información
Sistemas abiertos	Llamas, células y organismos en general	(a) Expansión de la teoría física a sistemas que sostienen paso de materia (metabolismo) (b) Almacenamiento de información en el código genético (DNA) Hoy por hoy no está claro el vínculo entre (a) y (b)
Organismos inferiores	Organismos «vegetaloides»: diferenciación creciente del sistema (la llamada «división del trabajo» en el organismo); distinción entre reproducción e individuo funcional («línea germinal y soma»)	Casi no hay teoría ni modelos
Animales	Importancia creciente del tráfico en la información (evolución de receptores, sistemas nerviosos); aprendizaje; comienzos de consciencia	Comienzos en la teoría de los autómatas (relaciones S-R), retroalimentación (fenómenos regulatorios), comportamiento autónomo (oscilaciones de relajamiento), etc.
Hombre	Simbolismo; pasado y porvenir, yo y mundo, consciencia de sí, etc., como consecuencias; comunicación por lenguaje, etc.	Incipiente teoría del simbolismo

Cuadro 1-2 (continuación)

Nivel	Descripción y ejemplos	Teoría y modelos
Sistemas socioculturales	Poblaciones de organismos (incluyendo los humanos); comunidades determinadas por símbolos (culturas)	Leyes estadísticas y posiblemente dinámicas en dinámica de poblaciones, sociología, economía, posiblemente historia Comienzos de una teoría de los sistemas culturales
Sistemas simbólicos	Lenguaje, lógica, matemáticas, ciencias, artes, moral, etc.	Algoritmos de símbolos (p. ej. matemáticas, gramática); «reglas del juego» como en artes visuales, música, etc.

Nota: Este repaso es impresionista e intuitivo y no aspira al rigor lógico. Por regla general, los niveles superiores presuponen los inferiores (p. ej. los fenómenos de la vida presuponen los del nivel fisicoquímico, los fenómenos socioculturales el nivel de la actividad humana, etc.), pero la relación entre niveles requiere aclaración en cada caso (cf. problemas como el del sistema abierto y el código genético como aparentes requisitos previos para la «vida», la relación entre sistemas «conceptuales» y «reales», etc.). En este sentido, la lista insinúa tanto los límites del reduccionismo como los vacíos en el conocimiento actual.

II. El significado de la teoría general de los sistemas

En pos de una teoría general de los sistemas

La ciencia moderna se caracteriza por la especialización siempre creciente, impuesta por la inmensa cantidad de datos, la complejidad de las técnicas y de las estructuras teóricas dentro de cada campo. De esta manera, la ciencia está escindida en innumerables disciplinas que sin cesar generan subdisciplinas nuevas. En consecuencia, el físico, el biólogo, el psicólogo y el científico social están, por así decirlo, encapsulados en sus universos privados, y es difícil que pasen palabras de uno de estos compartimientos a otro.

A ello, sin embargo, se opone otro notable aspecto. Al repasar la evolución de la ciencia moderna topamos con un fenómeno sorprendente: han surgido problemas y concepciones similares en campos muy distintos, independientemente.

La meta de la física clásica era a fin de cuentas resolver los fenómenos naturales en un juego de unidades elementales gobernadas por leyes «ciegas» de la naturaleza. Esto lo expresaba el ideal del espíritu laplaciano que, a partir de la posición y momento de sus partículas, puede predecir el estado del universo en cualquier momento. Esta visión mecanicista no se alteró —antes bien, se reforzó— cuando en la física las leyes deterministas fueron reemplazadas por leyes estadísticas. De acuerdo con la derivación por Boltzmann del segundo principio de la termodinámica, los acontecimientos físicos se dirigen hacia estados de máxima probabilidad, de suerte que las leyes físicas son esencialmente «leyes del desorden», fruto de acontecimientos desordenados, estadísticos. Sin

embargo, en contraste con esta visión mecanicista han aparecido en las varias ramas de la física moderna problemas de totalidad, interacción dinámica y organización. Con la relación de Heisenberg y la física cuántica se hizo imposible resolver los fenómenos en acontecimientos locales; surgen problemas de orden y organización, trátese de la estructura de los átomos, la arquitectura de las proteínas o los fenómenos de interacción en termodinámica. Parecidamente la biología, a la luz, mecanicista, veía su meta en la fragmentación de los fenómenos vitales en entidades atómicas y procesos parciales. El organismo vivo era descompuesto en células, sus actividades en procesos fisiológicos y por último fisicoquímicos, el comportamiento en reflejos condicionados y no condicionados, el sustrato de la herencia en genes discretos, y así sucesivamente. En cambio, la concepción organísmica es básica para la biología moderna. Es necesario estudiar no sólo partes y procesos aislados, sino también resolver los problemas decisivos hallados en la organización y el orden que los unifican, resultantes de la interacción dinámica de partes y que hacen el diferente comportamiento de éstas cuando se estudian aisladas o dentro del todo. Propensiones parecidas se manifestaron en psicología. En tanto que la clásica psicología de la asociación trataba de resolver fenómenos mentales en unidades elementales —átomos psicológicos se diría—, tales como sensaciones elementales, la psicología de la *Gestalt* reveló la existencia y la primacía de todos psicológicos que no son sumas de unidades elementales y que están gobernados por leyes dinámicas. Finalmente, en las ciencias sociales el concepto de sociedad como suma de individuos a modo de átomos sociales —el modelo del hombre económico— fue sustituido por la inclinación a considerar la sociedad, la economía, la nación, como un todo superordinado a sus partes. Esto trae consigo los grandes problemas de la economía planeada o la deificación de la nación y el Estado, pero también refleja nuevos modos de pensar.

Este paralelismo de principios cognoscitivos generales en diferentes campos es aun más impresionante cuando se tiene en cuenta que se dieron independientemente, sin que casi nunca interviniera nada de la labor e indagación en campos aparte.

Hay otro aspecto importante de la ciencia moderna. Hasta no hace mucho la ciencia exacta, el *corpus* de las leyes de la naturaleza, coincidía casi del todo en la física teórica. Pocos intentos de enunciar leyes exactas en terrenos no físicos han merecido reconocimiento.

No obstante, la repercusión y el progreso de las ciencias biológicas, de la conducta y sociales parecerían imponer un ensanchamiento de nuestros esquemas conceptuales a fin de dar cabida a sistemas de leyes en campos donde no es suficiente o posible la aplicación de la física.

Semejante inclinación hacia teorías generalizadas es patente en muchos campos y de diversas maneras. Partiendo de la labor précursora de Lotka y Volterra, p. ej., se ha desarrollado una compleja teoría de la dinámica de las poblaciones, la lucha por la existencia y los equilibrios biológicos. La teoría opera con nociones biológicas tales como individuo, especie, coeficientes de competencia y demás. Un procedimiento parecido se aplica en economía cuantitativa y econometría. Los modelos y familias de ecuaciones aplicadas en esta última se asemejan a los de Lotka o, por decirlo todo, a los de la cinética química, pero el modelo de entidades y fuerzas interactuantes ocupa otro nivel. Por tomar otro ejemplo: los organismos vivos son en el fondo sistemas abiertos, es decir, sistemas que intercambian materia con el medio circundante. La física y la fisicoquímica ordinarias se ocupan de sistemas cerrados, y apenas en años recientes ha sido ampliada la teoría para incluir procesos irreversibles, sistemas abiertos y estados de desequilibrio. Sin embargo, si deseamos aplicar el modelo de los sistemas abiertos –digamos— a los fenómenos del crecimiento animal, automáticamente llegamos a una generalización de la teoría, referente no ya a unidades físicas sino biológicas. En otras palabras, estamos ante sistemas generalizados. Lo mismo pasa en los campos de la cibernética y la teoría de la información, que han merecido tanto interés en los pasados años.

Así, existen modelos, principios y leyes aplicables a sistemas generalizados o a sus subclases, sin importar su particular género, la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o «fuerzas» que imperen entre ellos. Parece legítimo pedir una teoría no ya de sistemas de clase más o menos especial, sino de principios universales aplicables a los sistemas en general.

De aquí que adelantemos una nueva disciplina llamada *Teoría general de los sistemas*. Su tema es la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los «sistemas» en general.

El sentido de esta disciplina puede ser circunscrito como sigue. La física se ocupa de sistemas de diferentes niveles de generalidad. Se dilata desde sistemas bastante especiales —como los que aplica

el ingeniero a la construcción de un puente o una máquina— hasta leyes especiales de disciplinas físicas como la mecánica o la óptica, y hasta leyes de gran generalidad, como los principios de la termodinámica, aplicables a sistemas de naturaleza intrínsecamente diferente —mecánicos, calóricos, químicos o lo que sean. Nada prescribe que tengamos que desembocar en los sistemas tradicionalmente tratados por la física. Podemos muy bien buscar principios aplicables a sistemas en general, sin importar que sean de naturaleza física, biológica o sociológica. Si planteamos esto y definimos bien el sistema, hallaremos que existen modelos, principios y leyes que se aplican a sistemas generalizados, sin importar su particular género, elementos y «fuerzas» participantes.

Consecuencia de la existencia de propiedades generales de sistemas es la aparición de similaridades estructurales o isomorfismos en diferentes campos. Hay correspondencias entre los principios que rigen el comportamiento de entidades que son intrínsecamente muy distintas. Por tomar un ejemplo sencillo, se puede aplicar una ley exponencial de crecimiento a ciertas células bacterianas, a poblaciones de bacterias, de animales o de humanos, y al progreso de la investigación científica medida por el número de publicaciones de genética o de ciencia en general. Las entidades en cuestión, bacterias, animales, gente, libros, etc., son completamente diferentes, y otro tanto ocurre con los mecanismos causales en cuestión. No obstante, la ley matemática es la misma. O tómense los sistemas de ecuaciones que describen la competencia entre especies animales y vegetales en la naturaleza. Se da el caso de que iguales sistemas de ecuaciones se aplican en ciertos campos de la fisicoquímica y de la economía. Esta correspondencia se debe a que las entidades consideradas pueden verse, en ciertos aspectos, como «sistemas», o sea complejos de elementos en interacción. Que los campos mencionados, y otros más, se ocupen de «sistemas», es cosa que acarrea correspondencia entre principios generales y hasta entre leyes especiales, cuando se corresponden las condiciones en los fenómenos considerados.

Conceptos, modelos y leyes parecidos surgen una y otra vez en campos muy diversos, independientemente y fundándose en hechos del todo distintos. En muchas ocasiones fueron descubiertos principios idénticos, porque quienes trabajan en un territorio no se percataban de que la estructura teórica requerida estaba ya muy adelantada en algún otro campo. La teoría general de los

sistemas contará mucho en el afán de evitar esa inútil repetición de esfuerzos.

También aparecen isomorfismos de sistemas en problemas recalcitrantes al análisis cuantitativo pero, con todo, de gran interés intrínseco. Hay, p. ej., isomorfismos entre sistemas biológicos y «epiorganismos» (Gerard), como las comunidades animales y las sociedades humanas. ¿Qué principios son comunes a los varios niveles de organización y pueden, así, ser trasladados de un nivel a otro, y cuáles son específicos, de suerte que su traslado conduzca a falacias peligrosas? ¿Pueden las sociedades y civilizaciones ser consideradas como sistemas?

Se diría, entonces, que una teoría general de los sistemas sería un instrumento útil al dar, por una parte, modelos utilizables y trasferibles entre diferentes campos, y evitar, por otra, vagas analogías que a menudo han perjudicado el progreso en dichos campos.

Hay, sin embargo, otro aspecto aun más importante de la teoría general de los sistemas. Puede parafrasearse mediante una feliz formulación debida al bien conocido matemático y fundador de la teoría de la información, Warren Weaver. La física clásica, dijo éste, tuvo gran éxito al desarrollar la teoría de la complejidad no organizada. Por ej., el comportamiento de un gas es el resultado de los movimientos desorganizados, e imposibles de seguir aisladamente, de innumerables moléculas; en conjunto, lo rigen las leyes de la termodinámica. La teoría de la complejidad no organizada se arraiga a fin de cuentas en las leyes del azar y la probabilidad y en la segunda ley de la termodinámica. En contraste, hoy el problema fundamental es el de la complejidad organizada. Conceptos como los de organización, totalidad, directividad, teleología y diferenciación son ajenos a la física habitual. Sin embargo, asoman a cada paso en las ciencias biológicas, del comportamiento y sociales, y son de veras indispensables para vérselas con organismos vivientes o grupos sociales. De esta manera, un problema fundamental planteado a la ciencia moderna es el de una teoría general de la organización. La teoría general de los sistemas es capaz en principio de dar definiciones exactas de semejantes conceptos y, en casos apropiados, de someterlos a análisis cuantitativo.

Hemos indicado brevemente el sentido de la teoría general de los sistemas, y ayudará a evitar malos entendidos señalar ahora lo que no es. Se ha objetado que la teoría de los sistemas no quiere decir nada más que el hecho trivial de que matemáticas

de alguna clase son aplicables a diferentes clases de problemas. Por ej., la ley del crecimiento exponencial es aplicable a muy diferentes fenómenos, desde la desintegración radiactiva hasta la extinción de poblaciones humanas con insuficiente reproducción. Así es, sin embargo, porque la fórmula es una de las más sencillas ecuaciones diferenciales y por ello se puede aplicar a cosas muy diferentes. O sea que si se presentan las llamadas leyes isomorfas del crecimiento en muy diversos procesos, no es esto más significativo que el hecho de que la aritmética elemental sea aplicable a todos los objetos contables, que 2 y 2 sean 4, sin importar que se trate de manzanas, átomos o galaxias.

La respuesta es la siguiente. No sólo en el ejemplo citado como simple ilustración, sino en el desenvolvimiento de la teoría de los sistemas, la cuestión no es la aplicación de expresiones matemáticas bien conocidas. Antes bien, son planteados problemas novedosos y que en parte parecen lejos de estar resueltos. Según mencionamos, el método de la ciencia clásica era de lo más apropiado para fenómenos que pueden descomponerse en cadenas causales aisladas o que son consecuencia estadística de un número «infinito» de procesos aleatorios, como pasa con la mecánica estadística, el segundo principio de la termodinámica y todas las leyes que de él emanan. Sin embargo, los modos clásicos de pensamiento fracasan en el caso de la interacción entre un número grande, pero limitado, de elementos o procesos. Aquí surgen los problemas circunscritos por nociones como las de totalidad, organización y demás, que requieren nuevos modos de pensamiento matemático.

Otra objeción hace hincapié en el peligro de que la teoría general de los sistemas desemboque en analogías sin sentido. Este riesgo existe, en efecto. Así, es una idea difundida considerar el Estado o la nación como organismo en un nivel superordinado. Pero semejante teoría constituiría el fundamento de un Estado totalitario, dentro del cual el individuo humano aparece como célula insignificante de un organismo o como obrera intrascendente en una colmena.

La teoría general de los sistemas no persigue analogías vagas y superficiales. Poco valen, ya que junto a las similitudes entre fenómenos siempre se hallan también diferencias. El isomorfismo que discutimos es más que mera analogía. Es consecuencia del hecho de que, en ciertos aspectos, puedan aplicarse abstracciones y modelos conceptuales coincidentes a fenómenos diferentes. Sólo se aplicarán

las leyes de sistemas con mira a tales aspectos. Esto no difiere del procedimiento general en la ciencia. Es una situación como la que se puede dar cuando la ley de la gravitación se aplica a la manzana de Newton, el sistema planetario y los fenómenos de las mareas. Quiere decir que de acuerdo con ciertos aspectos limitados, un sistema teórico, el de la mecánica, es válido; no se pretende que haya particular semejanza entre las manzanas, los planetas y los océanos desde otros muchos puntos de vista.

Una objeción más pretende que la teoría de los sistemas carece de valor explicativo. Por ej., algunos aspectos de la intencionalidad orgánica, como lo que se llama equifinalidad de los procesos del desarrollo (p. 40), son susceptibles de interpretación con la teoría de los sistemas. Sin embargo, hoy por hoy nadie está en condiciones de definir en detalle los procesos que llevan de un zigoto animal a un organismo, con su miriada de células, órganos y funciones muy complicadas.

Consideraremos aquí que hay grados en la explicación científica, y que en campos complejos y teóricamente poco desarrollados tenemos que conformarnos con lo que el economista Hayek llamó con justicia «explicación en principio». Un ejemplo indicará el sentido de esto.

La economía teórica es un sistema altamente adelantado que suministra complicados modelos para los procesos en cuestión. Sin embargo, por regla general los profesores de economía no son millonarios. Dicho de otra manera, saben explicar bien los fenómenos económicos «en principio», pero no llegan a predecir fluctuaciones de la bolsa con respecto a determinadas participaciones o fechas. Con todo, la explicación en principio es mejor que la falta de explicación. Si se consigue insertar los parámetros necesarios, la explicación «en principio» en términos de teoría de los sistemas pasa a ser una teoría análoga en estructura a las de la física.

Metas de la teoría general de los sistemas

Tales consideraciones se resumen así.

En varias disciplinas de la ciencia moderna han ido surgiendo concepciones y puntos de vista generales semejantes. En tanto que antes la ciencia trataba de explicar los fenómenos observables reduciéndolos al juego de unidades elementales investigables independientemente una de otra, en la ciencia contemporánea aparecen actitudes

que se ocupan de lo que un tanto vagamente se llama «totalidad», es decir, problemas de organización, fenómenos no descomponibles en acontecimientos locales, interacciones dinámicas manifiestas en la diferencia de conducta de partes aisladas o en una configuración superior, etc.; en una palabra, «sistemas» de varios órdenes, no comprensibles por investigación de sus respectivas partes aisladas. Concepciones y problemas de tal naturaleza han aparecido en todas las ramas de la ciencia, sin importar que el objeto de estudio sean cosas inanimadas, organismos vivientes o fenómenos sociales. Esta correspondencia es más llamativa en vista de que cada ciencia siguió su curso independiente, casi sin contacto con las demás y basándose todas en hechos diferentes y filosofías contradictorias. Esto indica un cambio general en la actitud y las concepciones científicas.

No sólo se parecen aspectos y puntos de vista generales en diferentes ciencias; con frecuencia hallamos leyes formalmente idénticas o isomorfas en diferentes campos. En muchos casos, leyes isomorfas valen para determinadas clases o subclases de «sistemas», sin importar la naturaleza de las entidades envueltas. Parece que existen leyes generales de sistemas aplicables a cualquier sistema de determinado tipo, sin importar las propiedades particulares del sistema ni de los elementos participantes.

Estas consideraciones conducen a proponer una nueva disciplina científica, que llamamos teoría general de los sistemas. Su tema es la formulación de principios válidos para «sistemas» en general, sea cual fuere la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o «fuerzas» reinantes entre ellos.

De esta suerte, la teoría general de los sistemas es una ciencia general de la «totalidad», concepto tenido hasta hace poco por vago, nebuloso y semimetafísico. En forma elaborada sería una disciplina lógico-matemática, puramente formal en sí misma pero aplicable a las varias ciencias empíricas. Para las ciencias que se ocupan de «todos organizados», tendría significación análoga a la que disfrutó la teoría de la probabilidad para ciencias que se las ven con «acontecimientos aleatorios»; la probabilidad es también una disciplina matemática formal aplicable a campos de lo más diverso, como la termodinámica, la experimentación biológica y médica, la genética, las estadísticas para seguros de vida, etc.

Esto pone de manifiesto las metas principales de la teoría general de los sistemas:

(1) Hay una tendencia general hacia la integración en las varias ciencias, naturales y sociales.

(2) Tal integración parece girar en torno a una teoría general de los sistemas.

(3) Tal teoría pudiera ser un recurso importante para buscar una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.

(4) Al elaborar principios unificadores que corren «verticalmente» por el universo de las ciencias, esta teoría nos acerca a la meta de la unidad de la ciencia.

(5) Esto puede conducir a una integración, que hace mucha falta, en la instrucción científica.

Es oportuna una observación acerca de la delimitación de la teoría aquí discutida. El nombre y el programa de una teoría general de los sistemas los introdujo quien esto escribe hace ya años. Resultó, sin embargo, que no pocos investigadores de varios campos habían llegado a conclusiones y enfoques similares. Se propone, pues, conservar el nombre, que va imponiéndose en el uso general, aunque fuera sólo como rótulo conveniente.

De buenas a primeras, da la impresión de que la definición de sistemas como «conjuntos de elementos en interacción» fuera tan general y vaga que no hubiera gran cosa que aprender de ella. No es así. Por ej., pueden definirse sistemas merced a ciertas familias de ecuaciones diferenciales, y si, como es costumbre en el razonamiento matemático, se introducen condiciones más específicas, aparecen muchas propiedades importantes de los sistemas en general y de casos más especiales (cf. capítulo III).

El enfoque matemático adoptado en la teoría general de los sistemas no es el único posible ni el más general. Hay otra serie de enfoques modernos afines, tales como la teoría de la información, la cibernética, las teorías de los juegos, la decisión y las redes, los modelos estocásticos, la investigación de operaciones —por sólo mencionar los más importantes—; sin embargo, el hecho de que las ecuaciones diferenciales cubran vastas áreas en las ciencias físicas, biológicas, económicas, y probablemente también las ciencias del comportamiento, las hace vía apropiada de acceso al estudio de los sistemas generalizados.

Pasaré a ilustrar la teoría general de los sistemas con algunos ejemplos.

Sistemas cerrados y abiertos: limitaciones de la física ordinaria

Mi primer ejemplo será el de los sistemas cerrados y abiertos. La física ordinaria sólo se ocupa de sistemas cerrados, de sistemas que se consideran aislados del medio circundante. Así, la fisicoquímica nos habla de las reacciones, de sus velocidades, y de los equilibrios químicos que acaban por establecerse en un recipiente cerrado donde se mezclan cierto número de sustancias reaccionantes. La termodinámica declara expresamente que sus leyes sólo se aplican a sistemas cerrados. En particular, el segundo principio afirma que, en un sistema cerrado, cierta magnitud, la entropía, debe aumentar hasta el máximo, y el proceso acabará por detenerse en un estado de equilibrio. Puede formularse el segundo principio de diferentes modos, según uno de los cuales la entropía es medida de probabilidad, y así un sistema cerrado tiende al estado de distribución más probable. Sin embargo, la distribución más probable de una mezcla —digamos— de cuentas de vidrio rojas y azules, o de moléculas dotadas de velocidades diferentes, es un estado de completo desorden; todas las cuentas rojas por un lado y todas las azules por otro, o bien, en un espacio cerrado, todas las moléculas veloces —o sea de alta temperatura— a la derecha, y todas las lentas —baja temperatura— a la izquierda, son estados de cosas altamente improbables. O sea que la tendencia hacia la máxima entropía o la distribución más probable es la tendencia al máximo desorden.

Sin embargo, encontramos sistemas que, por su misma naturaleza y definición, no son sistemas cerrados. Todo organismo viviente es ante todo un sistema abierto. Se mantiene en continua incorporación y eliminación de materia, constituyendo y demoliendo componentes, sin alcanzar, mientras la vida dure, un estado de equilibrio químico y termodinámico, sino manteniéndose en un estado llamado uniforme *(steady)* que difiere de aquél. Tal es la esencia misma de ese fenómeno fundamental de la vida llamado metabolismo, los procesos químicos dentro de las células vivas. ¿Y entonces? Es obvio que las formulaciones habituales de la física no son en principio aplicables al organismo vivo *qua* sistema abierto y en estado uniforme, y bien podemos sospechar que muchas características de los sistemas vivos que resultan paradójicas vistas según las leyes de la física son consecuencia de este hecho.

No ha sido sino hasta años recientes cuando hemos presenciado una expansion de la física orientada a la inclusión de sistemas

abiertos. Esta teoría ha aclarado muchos fenómenos oscuros en física y biología, y ha conducido asimismo a importantes conclusiones generales, de las cuales sólo mencionaré dos.

La primera es el principio de equifinalidad. En cualquier sistema cerrado, el estado final está inequívocamente determinado por las condiciones iniciales: p. ej., el movimiento en un sistema planetario, donde las posiciones de los planetas en un tiempo t están inequívocamente determinadas por sus posiciones en un tiempo t_0. O, en un equilibrio químico, las concentraciones finales de los compuestos reaccionantes depende naturalmente de las concentraciones iniciales. Si se alteran las condiciones iniciales o el proceso, el estado final cambiará también. No ocurre lo mismo en los sistemas abiertos. En ellos puede alcanzarse el mismo estado final partiendo de diferentes condiciones iniciales y por diferentes caminos. Es lo que se llama equifinalidad, y tiene significación para los fenómenos de la regulación biológica. Quienes estén familiarizados con la historia de la biología recordarán que fue precisamente la equifinalidad la que llevó al biólogo alemán Driesch a abrazar el vitalismo, o sea la doctrina de que los fenómenos vitales son inexplicables en términos de la ciencia natural. La argumentación de Driesch se basaba en experimentos acerca de embriones tempranos. El mismo resultado final —un organismo normal de erizo de mar— puede proceder de un zigoto completo, de cada mitad de un zigoto de éstos, o del producto de fusión de dos zigotos. Lo mismo vale para embriones de otras muchas especies; incluyendo el hombre, donde los gemelos idénticos provienen de la escisión de un zigoto. La equifinalidad, de acuerdo con Driesch, contradice las leyes de la física y sólo puede deberse a un factor vitalista animoide que gobierne los procesos previendo la meta: el organismo normal por constituir. Sin embargo, puede demostrarse que los sistemas abiertos, en tanto alcancen un estado uniforme, deben exhibir equifinalidad, con lo cual desaparece la supuesta violación de las leyes físicas (cf. pp. 136 *s*).

Otro aparente contraste entre la naturaleza inanimada y la animada es lo que fue descrito a veces como violenta contradicción entre la degradación kelviniana y la evolución darwiniana, entre la ley de la disipación en física y la ley de la evolución en biología. De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la tendencia general de los acontecimientos en la naturaleza física apunta a estados de máximo desorden y a la igualación de diferencias,

con la llamada muerte térmica del universo como perspectiva final, cuando toda la energía quede degradada como calor uniformemente distribuido a baja temperatura, y los procesos del universo se paren. En contraste, el mundo vivo exhibe, en el desarrollo embrionario y en la evolución, una transición hacia un orden superior, heterogeneidad y organización. Pero, sobre la base de la teoría de los sistemas abiertos, la aparente contradicción entre entropía y evolución desaparece. En todos los procesos irreversibles la entropía debe aumentar. Por tanto, el cambio de entropía en sistemas cerrados es siempre positivo; hay continua destrucción de orden. En los sistemas abiertos, sin embargo, no sólo tenemos producción de entropía debida a procesos irreversibles, sino también entrada de entropía que bien puede ser negativa. Tal es el caso en el organismo vivo, que importa complejas moléculas ricas en energía libre. Así, los sistemas vivos, manteniéndose en estado uniforme, logran evitar el aumento de entropía y hasta pueden desarrollarse hacia estados de orden y organización crecientes.

A partir de estos ejemplos es de imaginarse el alcance de la teoría de los sistemas abiertos. Entre otras cosas, muestra que muchas supuestas violaciones de leyes físicas en la naturaleza no existen o, mejor dicho, que no se presentan al generalizar la teoría física. En una versión generalizada, el concepto de sistemas abiertos puede ser aplicado a niveles no físicos. Son ejemplos su uso en ecología, y la evolución hacia la formación de clímax (Whittacker); en psicología, donde los «sistemas neurológicos» se han considerado «estructuras dinámicas abiertas» (Krech): en filosofía, donde la tendencia hacia puntos de vista «trans-accionales» opuestos a los «auto-accionales» e «inter-accionales» corresponde de cerca al modelo de sistema abierto (Bentley).

Información y entropía

Otra vía que está vinculada de cerca a la teoría de los sistemas es la moderna teoría de la comunicación. Se ha dicho a menudo que la energía es la moneda de la física, como pasa con los valores económicos, expresados en dólares o pesos. Hay, sin embargo, algunos campos de la física y la tecnología donde esta moneda no es muy aceptable. Tal ocurre en el campo de la comunicación, el cual, en vista de la multiplicación de teléfonos, radios, radares,

máquinas computadoras, servomecanismos y otros artefactos, ha hecho nacer una nueva rama de la física.

La noción general en teoría de la comunicación es la de información. En muchos casos la corriente de información corresponde a una corriente de energía; p. ej., si ondas luminosas emitidas por algunos objetos llegan al ojo o a una celda fotoeléctrica, provocan alguna reacción del organismo o actúan sobre una máquina, y así portan información. Es fácil, sin embargo, dar ejemplos en los cuales la información fluye en sentido opuesto a la energía, o en los que es transmitida información sin que corran energía o materia. El primer caso se da en un cable telegráfico, por el que va corriente en una dirección, pero es posible enviar información, un mensaje, en una u otra dirección, interrumpiendo la corriente en un punto y registrando la interrupción en otro. A propósito del segundo caso, piénsese en las puertas automáticas con sistema fotoeléctrico: la sombra, la suspensión de la energía luminosa, informa a la celda de que alguien entra, y la puerta se abre. De modo que la información, en general, no es expresable en términos de energía.

Hay, sin embargo, otra manera de medir la información, a saber: en términos de decisiones. Tomemos el juego de las veinte preguntas, en el cual hay que averiguar de qué objeto se trata, respondiendo sólo «sí» o «no». La cantidad de información trasmitida en una respuesta representa una decisión entre dos posibilidades, p. ej., «animal» o «no animal». Con dos preguntas es posible decidir entre cuatro posibilidades, p. e., «mamífero»—«no mamífero», o «planta con flores—«planta sin flores». Con tres respuestas se trata de una decisión entre ocho, etc. Así, el logaritmo de base 2 de las decisiones posibles puede ser usado como medida de información, siendo la unidad la llamada unidad binaria o *bit*. La información contenida en dos respuestas es $\log_2 4 = 2$ *bits*, en tres respuestas, $\log_2 8 = 3$ *bits*, etc. Esta medida de la información resulta ser similar a la de la entropía, o más a la de la entropía negativa, puesto que la entropía es definida como logaritmo de la probabilidad. Pero la entropía, como ya sabemos, es una medida del desorden; de ahí que la entropía negativa o información sea una medida del orden o de la organización, ya que la última, en comparación con la distribución al azar, es un estado improbable.

Otro concepto céntrico de la teoría de la comunicación y el control es el de retroalimentación. El siguiente es un esquema sencillo de retroalimentación (Fig. 2.1). El sistema comprende, primero, un receptor u «órgano sensorio», ya sea una celda fotoeléctrica, una pantalla de radar, un termómetro o un órgano sensorio en sentido biológico. En los dispositivos tecnológicos, el mensaje puede ser una corriente débil; o en un organismo vivo estar representado por la conducción nerviosa, etc.

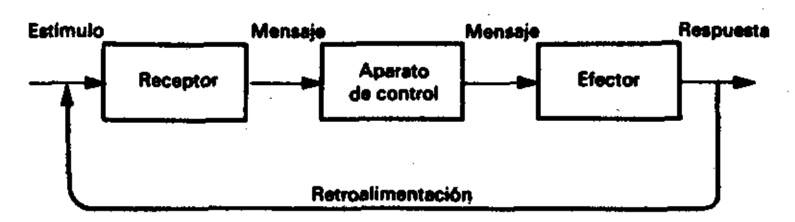


Fig. 2.1. Esquema sencillo de retroalimentación.

Hay luego un centro que recombina los mensajes que llegan y los transmite a un efector, consistente en una máquina como un electromotor, un carrete de calentamiento o solenoide, o un músculo que responde al mensaje que llega, de tal manera que haya considerable emisión de energía. Por último, el funcionamiento del efector está empalmado al receptor, lo cual hace que el sistema se autorregule, o sea que garantiza la estabilización o la dirección de acción.

Los dispositivos de retroalimentación se emplean mucho en la tecnología moderna para estabilizar determinada acción, como en los termostatos o los receptores de radio, o la dirección de acciones hacia determinada meta: las desviaciones se retroalimentan, como información, hasta que se alcanza la meta o el blanco. Tal es el caso de los proyectiles autodirigidos que buscan el blanco, de los sistemas de control de cañones antiaéreos, de los sistemas de pilotaje de buques y de otros de los llamados servomecanismos.

Hay, por cierto, gran número de fenómenos biológicos que corresponden al modelo de retroalimentación. Está, primero, lo que se llama homeostasia, o mantenimiento del equilibrio en el organismo vivo, cuyo prototipo es la termorregulación en los animales de sangre caliente. El enfriamiento de la sangre estimula ciertos centros cerebrales que «echan a andar» los mecanismos productores

de calor del cuerpo, y la temperatura de éste es registrada a su vez por aquellos centros, de manera que la temperatura es mantenida a nivel constante. Existen en el cuerpo mecanismos homeostáticos análogos que preservan la constancia de gran número de variables fisicoquímicas. Además, en el organismo humano y animal existen sistemas de retroalimentación comparables a los servomecanismos de la tecnología, que se encargan de la regulación de acciones. Si queremos alcanzar un lápiz, se envía al sistema nervioso central un informe acerca de la distancia que nos impidió llegar al lápiz en el primer intento; esta información es retroalimentada al sistema nervioso central para que el movimiento sea controlado hasta que se logre la meta.

Gran variedad de sistemas tecnológicos y de la naturaleza viviente siguen, pues, el esquema de retroalimentación, y es bien sabido que Norbert Wiener creó una nueva disciplina, llamada cibernética, para tratar estos fenómenos. La teoría aspira a mostrar que mecanismos de naturaleza retroalimentadora fundamentan el comportamiento teleológico o intencionado en las máquinas construidas por el hombre, así como en los organismos vivos y en los sistemas sociales.

Hay que tener presente, sin embargo, que el esquema de retroalimentación es de naturaleza bastante especial. Presupone disposiciones estructurales del tipo mencionado. Pero hay muchas regulaciones en el organismo vivo que tienen naturaleza del todo distinta, a saber, aquellos en que se alcanza el orden por interacción dinámica de procesos. Recuérdense, p. ej., las regulaciones embrionarias, que restablecen el todo a partir de las partes en procesos equifinales. Puede demostrarse que las regulaciones *primarias* en los sistemas orgánicos, o sea aquellas que son más fundamentales y primitivas en el desarrollo embrionario así como en la evolución, residen en la interacción dinámica. Se basan en el hecho de que el organismo vivo sea un sistema abierto que se mantiene en estado uniforme o se acerca a él. Superpuestas están las regulaciones que podemos llamar *secundarias* y que son controladas por disposiciones fijas, especialmente del tipo de la retroalimentación. Esta situación es consecuencia de un principio general de organización que podría llamarse mecanización progresiva. Al principio los sistemas —biológicos, neurológicos, psicológicos o sociales— están gobernados por interacción dinámica entre sus componentes; más tarde se establecen disposiciones fijas y condiciones de restricción que hacen más eficiente el sistema y sus partes, pero, de paso, disminuyen gradualmente

su equipotencialidad hasta acabar por abolirla. De modo que la dinámica es el aspecto más amplio, ya que siempre es posible llegar, por leyes generales de sistemas, hasta la función como de máquina, imponiendo condiciones adecuadas de restricción, pero no es posible lo contrario.

Causalidad y teleología

Otro punto que desearía mencionar es el cambio en la imagen científica del mundo durante las últimas décadas. En el punto de vista llamado mecanicista, nacido de la física clásica del siglo XIX, el juego sin concierto de los átomos, regidos por las leyes inexorables de la causalidad, generaba todos los fenómenos del mundo, inanimado, viviente y mental. No quedaba lugar para ninguna direccionalidad, orden o *telos*. El mundo de los organismos aparecía como producto del azar, amasado por el juego sin sentido de mutaciones azarosas y selección; el mundo mental como un epifenómeno curioso y bastante inconsecuente de los acontecimientos materiales.

La única meta de la ciencia parecía ser analítica: la división de la realidad en unidades cada vez menores y el aislamiento de líneas causales separadas. Así, la realidad física era descompuesta en puntos de masa o átomos, el organismo vivo en células, el comportamiento en reflejos, la percepción en sensaciones puntuales, etc. En correspondencia, la causalidad tenía esencialmente un sentido: nuestro sol atrae a un planeta en la mecánica newtoniana, un gene en el óvulo fertilizado responde de tal o cual carácter heredado, una clase de bacteria produce tal o cual enfermedad, los elementos mentales están alineados, como las cuentas de un collar, por la ley de la asociación. Recuérdese la famosa tabla de las categorías kantianas, que intenta sistematizar las nociones fundamentales de la ciencia clásica: es sintomático que nociones de interacción y de organización figurasen sólo para llenar huecos, o no apareciesen de plano.

Puede tomarse como característica de la ciencia moderna el que este esquema de unidades aislables actuantes según causalidad unidireccional haya resultado insuficiente. De ahí la aparición, en todos los campos de la ciencia, de nociones como las de totalidad, holismo, organismo, *Gestalt*, etc., que vienen a significar todas que, en última instancia, debemos pensar en términos de sistemas de elementos en interacción mutua.

Análogamente, las nociones de teleología y directividad parecían caer fuera del alcance de la ciencia y ser escenario de misteriosos agentes sobrenaturales o antropomorfos —o bien tratarse de un seudoproblema, intrínsecamente ajeno a la ciencia, mera proyección mal puesta de la mente del observador en una naturaleza gobernada por leyes sin propósito. Con todo, tales aspectos existen, y no puede concebirse un organismo vivo —no se diga el comportamiento y la sociedad humanos— sin tener en cuenta lo que, variada y bastante vagamente, se llama adaptabilidad, intencionalidad, persecución de metas y cosas semejantes.

Característico del presente punto de vista es que estos aspectos sean tomados en serio, como problemas legítimos para la ciencia; y también estamos en condiciones de procurar modelos que simulen tal comportamiento.

Ya han sido mencionados dos de ellos. Uno es la equifinalidad, la tendencia a un estado final característico a partir de diferentes estados iniciales y por diferentes caminos, fundada en interacción dinámica en un sistema abierto que alcanza un estado uniforme; otro, la retroalimentación, el mantenimiento homeostático de un estado característico o la búsqueda de una meta, basada en cadenas causales circulares y en mecanismos que devuelven información acerca de desviaciones con respecto al estado por mantener o la meta por alcanzar. Otro modelo de comportamiento adaptativo, un «diseño para un cerebro», es creación de Ashby, quien partió, dicho sea de paso, de las mismas definiciones y ecuaciones matemáticas para un sistema general que había usado el presente autor. Ambos llevaron adelante sus sistemas independientemente y, siguiendo diferentes intereses, arribaron a distintos teoremas y conclusiones. El modelo de la adaptabilidad de Ashby es, a grandes rasgos, el de funciones escalonadas que definen un sistema, funciones, pues, que al atravesar cierto valor crítico, saltan a una nueva familia de ecuaciones diferenciales. Esto significa que, habiendo pasado un estado crítico, el sistema emprende un nuevo modo de comportamiento. Así, por medio de funciones escalonadas, el sistema exhibe comportamiento adaptativo según lo que el biólogo llamaría ensayo y error: prueba diferentes caminos y medios, y a fin de cuentas se asienta en un terreno donde ya no entre en conflicto con valores críticos del medio circundante. Ashby incluso construyó una máquina electromagnética, el homeóstato, que representa un sistema así, que se adapta por ensayo y error.

No voy a discutir los méritos y limitaciones de estos modelos de comportamiento teleológico o dirigido. Lo que sí debe ser subrayado es el hecho de que el comportamiento teleológico dirigido hacia un estado final o meta característicos no sea algo que esté más allá de las lindes de la ciencia natural, ni una errada concepción antropomorfa de procesos que, en sí mismos, no tienen dirección y son accidentales. Más bien es una forma de comportamiento definible en términos científicos y cuyas condiciones necesarias y mecanismos posibles pueden ser indicados

¿Qué es organización?

Consideraciones análogas son aplicables al concepto de organización. También ella era ajena al mundo mecanicista. El problema no se presentó en física clásica, en mecánica, electrodinámica, etc. Más aun, el segundo principio de la termodinámica apuntaba a la destrucción del orden como dirección general de los acontecimientos. Verdad es que las cosas son distintas en la física moderna. Un átomo, un cristal, una molécula, son organizaciones, como Whitehead no se cansaba de subrayar. En biología, los organismos son, por definición, cosas organizadas. Pero aunque dispongamos de una enorme cantidad de datos sobre la organización biológica, de la bioquímica y la citología a la histología y la anatomía; carecemos de una teoría de la organización biológica, de un modelo conceptual que permita explicar los hechos empíricos.

Características de la organización, trátese de un organismo vivo o de una sociedad, son nociones como las de totalidad, crecimiento, diferenciación, orden jerárquico, dominancia, control, competencia, etcétera.

Semejantes nociones no intervienen en la física corriente. La teoría de los sistemas está en plenas condiciones de vérselas con estos asuntos. Es posible definir tales nociones dentro del modelo matemático de un sistema; más aun, en ciertos aspectos pueden deducirse teorías detalladas que derivan los casos especiales a partir de supuestos generales. Un buen ejemplo es la teoría de los equilibrios biológicos, las fluctuaciones cíclicas, etc., iniciada por Lotka, Volterra, Gause y otros. Se da el caso de que la teoría biológica de Volterra y la teoría de la economía cuantitativa son isomorfas en muchos puntos.

Hay, sin embargo, muchos aspectos de organizaciones que no se prestan con facilidad a interpretación cuantitativa. A la ciencia natural no le es ajena esta dificultad. Así, la teoría de los equilibrios biológicos o la de la selección natural son campos muy desarrollados de la biología matemática, y nadie duda de su legitimidad, de que son correctas a rasgos generales y constituyen parte importante de la teoría de la evolución y la ecología. Sin embargo, no es fácil aplicarlas porque los parámetros escogidos, tales como el valor selectivo, el ritmo de destrucción y generación, etc., no son fáciles de medir. Tenemos así que conformarnos con una «explicación en principio», argumentación cualitativa que, con todo, no deja de conducir a consecuencias interesantes.

Como ejemplo de la aplicación de la teoría general de los sistemas a la sociedad humana mencionaremos un libro de Boulding intitulado *The Organizational Revolution*. Boulding parte de un modelo general de la organización y enuncia las que llama leyes férreas, válidas para cualquier organización. Entre ellas están, p. ej., la ley malthusiana de que el incremento de población supera por regla general al de los recursos. Está, asimismo, la ley de las dimensiones óptimas de las organizaciones: mientras más crece una organización, más se alarga el camino para la comunicación, lo cual —y según la naturaleza de la organización— actúa como factor limitante y no permite a la organización crecer más allá de ciertas dimensiones críticas. De acuerdo con la ley de inestabilidad, muchas organizaciones no están en equilibrio estable sino que exhiben fluctuaciones cíclicas resultantes de la interacción entre subsistemas. Dicho sea de paso, esto probablemente podría tratarse en términos de la teoría de Volterra. La llamada primera ley de Volterra revela ciclos periódicos en poblaciones de dos especies, una de las cuales se alimenta de la otra. La importante ley del oligopolio afirma que, si hay organizaciones en competencia, la inestabilidad de sus relaciones, y con ello el peligro de fricción y conflictos, aumenta al disminuir el número de dichas organizaciones. Mientras sean relativamente pequeñas y numerosas, salen adelante en una especie de coexistencia, pero si quedan unas cuantas, o un par, como pasa con los colosales bloques políticos de hoy, los conflictos se hacen devastadores hasta el punto de la mutua destrucción. Es fácil multiplicar el número de tales teoremas generales. Bien pueden desarrollarse matemáticamente, lo cual ya ha sido hecho en algunos aspectos.

Teoría general de los sistemas y unidad de la ciencia

Concluiré estas observaciones con unas palabras acerca de las implicaciones generales de la teoría interdisciplinaria.

Quizá pueda resumirse como sigue la función integradora de la teoría general de los sistemas. Hasta aquí se ha visto la unificación de la ciencia en la reducción de todas las ciencias a la física, en la resolución final de todos los fenómenos en acontecimientos físicos. Desde nuestro punto de vista, la unidad de la ciencia adquiere un aspecto más realista. Una concepción unitaria del mundo puede basarse no ya en la esperanza —acaso fútil y de fijo rebuscada— de reducir al fin y al cabo todos los niveles de la realidad al de la física, sino mejor en el isomorfismo de las leyes en diferentes campos. Hablando según lo que se ha llamado el modo «formal» —es decir, contemplando las construcciones conceptuales de la ciencia—, esto significa uniformidades estructurales en los esquemas que estamos aplicando. En lenguaje «material», significa que el mundo, o sea la totalidad de los acontecimientos observables, exhibe uniformidades estructurales que se manifiestan por rastros isomorfos de orden en los diferentes niveles o ámbitos.

Llegamos con ello a una concepción que, en contraste con el reduccionismo, podemos denominar perspectivismo. No podemos reducir los niveles biológico, del comportamiento y social al nivel más bajo, el de las construcciones y leyes de la física. Podemos, en cambio, hallar construcciones y tal vez leyes en los distintos niveles. Como dijo una vez Aldous Huxley, el mundo es un pastel de helado napolitano cuyos niveles —el físico, el biológico, el social y el moral— corresponden a las capas de chocolate, fresa y vainilla. La fresa no es reducible al chocolate —lo más que podemos decir es que quizás en última instancia todo sea vainilla, todo mente o espíritu. El principio unificador es que encontramos organización en todos los niveles. La visión mecanicista del mundo, al tomar como realidad última el juego de las partículas físicas, halló expresión en una civilización que glorifica la tecnología física conducente a fin de cuentas a las catástrofes de nuestro tiempo. Posiblemente el modelo del mundo como una gran organización ayude a reforzar el sentido de reverencia hacia lo viviente que casi hemos perdido en las últimas y sanguinarias décadas de la historia humana.

La teoría general de los sistemas en la educación: la producción de generalistas científicos

Después de este somero esbozo del significado y las metas de la teoría general de los sistemas, permítaseme hablar de algo que pudiera contribuir a la instrucción integrada. A fin de no parecer parcial, citaré a unos cuantos autores que no se dedicaban a desarrollar la teoría general de los sistemas.

Hace años apareció un artículo, «The Education of Scientific Generalists», escrito por un grupo de científicos, entre ellos el ingeniero Bode, el sociólogo Mosteller, el matemático Tukey y el biólogo Winsor. Los autores hicieron hincapié en «la necesidad de un enfoque más sencillo y unificado de los problemas científicos»:

> Oímos con frecuencia que «un hombre no puede ya cubrir un campo suficientemente amplio», y que «hay demasiada especialización limitada»... Es necesario un enfoque más sencillo y unificado de los problemas científicos, necesitamos practicantes de la ciencia, no de una ciencia: en una palabra, necesitamos generalistas científicos. (Bode *et al.*, 1949.)

Los autores ponían entonces en claro el cómo y el porqué de la necesidad de generalistas en campos como la fisicoquímica, la biofísica, la aplicación de la química, la física y las matemáticas a la medicina, y seguían diciendo:

> Todo grupo de investigación necesita un generalista, trátese de un grupo institucional en una universidad o fundación, o de un grupo industrial... En un grupo de ingeniería, al generalista le incumbirían naturalmente los problemas de sistemas. Tales problemas surgen cuando se combinan partes en un todo equilibrado. (Bode *et al.*, 1949.)

En un coloquio de la Foundation for Integrated Education, el profesor Mather (1951) discutió los «Integrative Studies for General Education». Afirmó que:

> Una de las críticas a la educación general se basa en el hecho de que fácilmente degenera hacia la mera presentación de información tomada de tantos campos de indagación como alcancen a ser repasados en un semestre o un año... Quien oyese a estudiantes adelantados charlando, no dejaría de escuchar a alguno diciendo que «los profesores nos han atiborrado, pero

¿qué quiere decir todo esto?»... Más importante es la búsqueda de conceptos básicos y principios subyacentes que sean válidos en toda la extensión del conocimiento.

Respondiendo a propósito de la naturaleza de tales conceptos básicos, Mather dice:

> Investigadores en campos muy diversos han dado independientemente con conceptos generales muy similares. Semejantes correspondencias son tanto más significativas cuanto que se fundan en hechos totalmente diferentes. Quienes las crearon solían desconocer las labores del prójimo. Partieron de filosofías encontradas, y aun así llegaron a conclusiones notablemente parecidas...
>
> Así concebidos —concluye Mather—, los estudios integrados demostrarían ser parte esencial de la búsqueda de comprensión de la realidad.

No parecen hacer falta comentarios. La instrucción habitual en física, biología, psicología o ciencias sociales las trata como dominios separados, y la tendencia general es hacer ciencias separadas de subdominios cada vez menores, proceso repetido hasta el punto de que cada especialidad se torna un área insignificante, sin nexos con lo demás. En contraste, las exigencias educativas de adiestrar «generalistas científicos» y de exponer «principios básicos» interdisciplinarios son precisamente las que la teoría general de los sistemas aspira a satisfacer. No se trata de un simple programa ni de piadosos deseos, ya que, como tratamos de mostrar, ya está alzándose una estructura teórica así. Vistas las cosas de este modo, la teoría general de los sistemas sería un importante auxilio a la síntesis interdisciplinaria y la educación integrada.

Ciencia y sociedad

Si hablamos de educación, sin embargo, no sólo nos referimos a valores científicos, es decir, a la comunicación e integración de hechos. También aludimos a los valores éticos, que contribuyen al desenvolvimiento de la personalidad. ¿Habrá algo que ganar gracias a los puntos de vista que hemos discutido? Esto conduce al problema fundamental del valor de la ciencia en general, y de las ciencias sociales y de la conducta en particular.

Un argumento muy socorrido acerca del valor de la ciencia y de su repercusión en la sociedad y el bienestar de la humanidad dice más o menos esto: nuestro conocimiento de las leyes de la física es excelente, y en consecuencia nuestro control tecnológico de la naturaleza inanimada es casi ilimitado. El conocimiento de las leyes biológicas no va tan adelantado, pero sí lo bastante para disponer en buena medida de tecnología biológica, en la moderna medicina y biología aplicada. Las esperanzas de vida son superiores a las que disfrutaba el ser humano en los últimos siglos y aun en las últimas décadas. La aplicación de los métodos modernos de agricultura y zootecnia científicas, etc. bastarían para sostener una población humana muy superior a la que hay actualmente en nuestro planeta. Lo que falta, sin embargo, es conocimiento de las leyes de la sociedad humana, y en consecuencia una tecnología sociológica. De ahí que los logros de la física se dediquen a la destrucción cada vez más eficiente; cunde el hambre en vastas partes del mundo mientras que en otras las cosechas se pudren o son destruidas; la guerra y la aniquilación indiferente de la vida humana, la cultura y los medios de subsistencia son el único modo de salir al paso de la fertilidad incontrolada y la consiguiente sobrepoblación. Tal es el resultado de que conozcamos y dominemos demasiado bien las fuerzas físicas, las biológicas medianamente, y las sociales en absoluto. Si dispusiéramos de una ciencia de la sociedad humana bien desarrollada y de la correspondiente tecnología, habría modo de escapar del caos y de la destrucción que amenaza a nuestro mundo actual.

Esto suena plausible, y en realidad no es sino una versión moderna del precepto platónico según el cual si gobernasen los filósofos la humanidad estaría salvada. Hay, no obstante, un defecto en la argumentación. Tenemos bastante idea de cómo sería un mundo científicamente controlado. En el mejor de los casos, sería como el *Mundo feliz* de Huxley; en el peor, como el de *1984* de Orwell. Es un hecho empírico que los logros científicos se dedican tanto o más al uso destructivo que al constructivo. Las ciencias del comportamiento y la sociedad humanos no son excepciones. De hecho, acaso el máximo peligro de los sistemas del totalitarismo moderno resida en que estén tan alarmantemente al corriente no sólo en tecnología física y biológica, sino en la psicológica también. Los métodos de sugestión de masas, de liberación de instintos de la bestia humana, de condicionamiento y control del pensamiento,

están adelantados al máximo; es, ni más ni menos, por ser tan atrozmente científico por lo que el totalitarismo moderno hace que el absolutismo de otros tiempos parezca cosa de aficionados o ficción comparativamente inofensiva. El control científico de la sociedad no lleva a Utopía.

El precepto último: el hombre como individuo

Es concebible, sin embargo, la comprensión científica de la sociedad humana y de sus leyes por un camino algo diferente y más modesto. Tal conocimiento no sólo nos enseñará lo que tienen de común en otras organizaciones el comportamiento y la sociedad humanos, sino también cuál es su unicidad. El postulado principal será: el hombre no es sólo un animal político; es, antes y sobre todo, un individuo. Los valores reales de la humanidad no son los que comparte con las entidades biológicas, con el funcionamiento de un organismo o una comunidad de animales, sino los que proceden de la mente individual. La sociedad humana no es una comunidad de hormigas o de termes, regida por instinto heredado y controlada por las leyes de la totalidad superordinada; se funda en los logros del individuo, y está perdida si se hace de éste una rueda de la máquina social. En mi opinión, tal es el precepto último que ofrece una teoría de la organización: no un manual para que dictadores de cualquier denominación sojuzguen con mayor eficiencia a los seres humanos aplicando científicamente las leyes férreas, sino una advertencia de que el Leviatán de la organización no debe engullir al individuo si no quiere firmar su sentencia inapelable.

III. Consideración matemática elemental de algunos conceptos de sistema

El concepto de sistema

Al manejar complejos de «elementos» pueden establecerse tres tipos de distinción, a saber: (1) de acuerdo con su *número;* (2) de acuerdo con sus *especies;* (3) de acuerdo con las *relaciones* entre elementos. La siguiente ilustración sencilla aclarará esto (Fig. 3.1); aquí *a* y *b* simbolizan varios complejos.

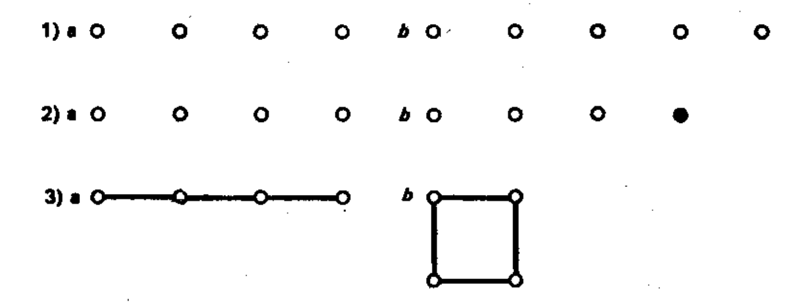


Fig. 3.1.

En los casos (1) y (2), el complejo puede ser comprendido (cf. pp. 68 *ss*) como suma de elementos considerados aisladamente. En el caso (3), no sólo hay que conocer los elementos, sino también las relaciones entre ellos. Características del primer tipo pueden llamarse *sumativas*, y *constitutivas* las del segundo. También podemos

decir que las características sumativas de un elemento son aquellas que son las mismas dentro y fuera del complejo; se obtienen, pues, por suma de características y comportamiento de elementos tal como son conocidos aislados. Las características constitutivas son las que dependen de las relaciones específicas que se dan dentro del complejo; para entender tales características tenemos, por tanto, que conocer no sólo las partes sino también las relaciones.

Características físicas del primer tipo son, p. ej., el peso o el peso molecular (sumas de pesos o de pesos atómicos, respectivamente), el calor (considerado como suma de movimientos de las moléculas), etc. Un ejemplo de la segunda clase son las características químicas (p. ej. la isomería, las diferentes características de compuestos de igual composición total pero con diferentes disposiciones de los átomos en la molécula).

El sentido de la expresión algo mística «el todo es más que la suma de sus partes» reside sencillamente en que las características constitutivas no son explicables a partir de las características de partes aisladas. Así, las características del complejo, comparadas con las de los elementos, aparecen como «nuevas» o «emergentes». Sin embargo, si conocemos el total de partes contenidas en un sistema y la relación que hay entre ellas, el comportamiento del sistema es derivable a partir del comportamiento de las partes. También puede decirse: si bien es concebible la composición gradual de una suma, un sistema, como total de partes interrelacionadas, tiene que ser concebido como compuesto instantáneamente.

Desde el punto de vista físico, estos enunciados son triviales; sólo podrían hacerse problemáticos y llevar a concepciones confusas en biología, psicología y sociología a causa de mala interpretación de la concepción mecanicista, con la tendencia a la división de los fenómenos en elementos y cadenas causales independientes, descuidando las interrelaciones gracias a un rodeo.

Rigurosamente desarrollada, la teoría general de los sistemas habría de tener naturaleza axiomática; esto es, a partir de la noción de «sistema» y un conjunto adecuado de axiomas se deducirían proposiciones que expresasen propiedades y principios de sistemas. Las consideraciones que siguen son mucho más modestas. Sólo ilustran algunos principios de sistemas merced a formulaciones que son sencillas e intuitivamente accesibles, sin aspirar a rigor y generalidad matemáticos.

Un sistema puede ser definido como un complejo de elementos interactuantes. Interacción significa que elementos, p, están en relaciones, R, de suerte que el comportamiento de un elemento p en R es diferente de su comportamiento en otra relación R'. Si los comportamientos en R y R' no difieren, no hay interacción, y los elementos se comportan independientemente con respecto a las relaciones R y R'.

Es posible definir matemáticamente un sistema de varias maneras. Tomemos como ilustración un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas. Denotando por Q_i alguna magnitud de elementos p_i $(i = 1, 2,... n)$, para un número finito de elementos y en el caso más sencillo, las ecuaciones tendrán la forma

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dQ_1}{dt} &= f_1\,(Q_1, Q_2,\dots Q_n)\\
\frac{dQ_2}{dt} &= f_2\,(Q_1, Q_2,\dots Q_n)\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
\frac{dQ_n}{dt} &= f_n\,(Q_1, Q_2,\dots Q_n)
\end{aligned}\right\} \qquad (3.1)$$

De esta suerte, el cambio de cualquier magnitud Q_i es función de todas las Q, de Q_1 a Q_n; a la inversa, el cambio de cualquier Q_i acarrea cambio en todas las demás magnitudes y en el sistema en conjunto.

Sistemas de ecuaciones de este género se encuentran en muchos campos y representan un principio general de cinética. P. ej., en la *Simultankinetik* tal como la desarrolló Skrabal (1944, 1949), ésta es la expresión general de la ley de acción de masas. El mismo sistema fue empleado por Lotka (1925) en sentido amplio, especialmente con respecto a problemas demográficos. Las ecuaciones para sistemas biocenóticos deducidas por Volterra, Lotka, D'Ancona, Gause y otros, son casos especiales de las expresiones (3.1). Otro tanto ocurre con las ecuaciones usadas por Spiegelman (1945) para la cinética de los procesos celulares y la teoría de la competencia dentro de un organismo. G. Werner (1947) presentó un sistema parecido, aunque algo más general (considerándolo continuo y, por tanto, recurriendo a ecuaciones diferenciales parciales con res-

pecto a x, y, z y t), como ley básica de la farmacodinamia, a partir de la cual son derivables las varias leyes de la acción de medicamentos, insertando las condiciones especiales pertinentes.

Semejante definición de «sistema», claro está, no es general en modo alguno. Prescinde de condiciones espaciales y temporales, que podrían expresarse mediante ecuaciones diferenciales parciales. Tampoco toma en cuenta una posible dependencia de aconteceres con respecto a la historia previa del sistema («histéresis» en sentido amplio); la consideración de esto transformaría el sistema en ecuaciones integrodiferenciales según las discutió Volterra (1931; cf. también D'Ancona, 1939, y Donnan 1937). La introducción de tales ecuaciones tendría un significado definido: el sistema considerado no sólo constituiría un todo espacial, sino también temporal.

Pese a estas restricciones, el sistema (3.1) sirve para discutir varias propiedades generales de sistemas. Aunque nada se afirme acerca de la naturaleza de las magnitudes Q_i o de las funciones f_i —o sea acerca de las relaciones e interacciones dentro del sistema—, pueden deducirse algunos principios generales.

Hay una condición de estado estacionario, caracterizada por la desaparición de los cambios dQ_i/dt:

$$f_1 = f_2 = \dots f_n = 0 \tag{3.2}$$

Igualando a cero obtenemos n ecuaciones para n variables, y resolviéndolas obtenemos los valores:

$$\left.\begin{array}{l} Q_1 = Q_1^* \\ Q_2 = Q_2^* \\ \dots\dots\dots \\ Q_n = Q_n^* \end{array}\right\} \tag{3.3}$$

Estos valores son constantes, ya que, tal como se presupuso, en el sistema desaparecen los cambios. En general, habrá múltiples estados estacionarios, algunos estables, algunos inestables.

Pueden introducirse nuevas variables:

$$Q_i = Q_i^* - Q_i' \tag{3.4}$$

y ser reformulado el sistema (3.1):

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dQ_1'}{dt} &= f_1' \; (Q_1', Q_2', \ldots Q_n') \\
\frac{dQ_2'}{dt} &= f_2' \; (Q_1', Q_2', \ldots Q_n') \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
\frac{dQ_n'}{dt} &= f_n' \; (Q_1', Q_2', \ldots Q_n')
\end{aligned}\right\} \qquad (3.5)$$

Supongamos que el sistema puede ser desarrollado en serie de Taylor:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dQ_1'}{dt} &= a_{11} \; Q_1' + a_{12} \; Q_2' + \ldots \\
&\quad a_{1n} \; Q_n' + a_{111} \; Q_1'^2 + a_{112} \; Q_1' \; Q_2' + a_{122} \; Q_2'^2 + \ldots \\
\frac{dQ_2'}{dt} &= a_{21} \; Q_1' + a_{22} \; Q_2' + \ldots \\
&\quad a_{2n} \; Q_n \; + \; a_{211} \; Q'^2 + a_{212} \; Q_1' \; Q_2' + a_{222} \; Q_2'^2 + \ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
\frac{dQ_n'}{dt} &= a_{n1} \; Q_1' + a_{n2} \; Q_2' + \ldots \\
&\quad a_{nn} \; Q_n' + a_{n11} \; Q_1'^2 + a_{n12} \; Q_1' \; Q_2' + a_{n22} \; Q_2'^2 + \ldots
\end{aligned}\right\} \qquad (3.6)$$

Una solución general de este sistema de ecuaciones es:

$$\left.\begin{aligned}
Q_1' &= G_{11}e^{\lambda_1 t} + G_{12}e^{\lambda_2 t} + \ldots \; G_{1n}e^{\lambda n t} + G_{111}e^{2\lambda_1 t} + \ldots \\
Q_2' &= G_{21}e^{\lambda_1 t} + G_{22}e^{\lambda_2 t} + \ldots \; G_{2n}e^{\lambda n t} + G_{211}e^{2\lambda_1 t} + \ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
Q_n' &= G_{n1}e^{\lambda_1 t} + G_{n2}e^{\lambda_2 t} + \ldots \; G_{nn}e^{\lambda n t} + G_{n11}e^{2\lambda_1 t} + \ldots
\end{aligned}\right\} \qquad (3.7)$$

donde las G son constantes y λ las raíces de la ecuación característica:

$$\begin{vmatrix} a_{11}-\lambda & a_{12} & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22}-\lambda & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn}-\lambda \end{vmatrix} = 0 \tag{3.8}$$

Las raíces λ pueden ser reales o imaginarias. Examinando las ecuaciones (3.7) encontramos que si todas las λ son reales y negativas (o, de ser complejas, negativas en sus partes reales), Q_i', al crecer el tiempo, tiende a 0, ya que $e^{-\infty}=0$; pero, sin embargo, como según (3.5) $Q_i = Q_i^* - Q_i'$, con ello las Q_i obtienen los valores estacionarios Q_i^*. En este caso el equilibrio es *estable*, ya que, dado un tiempo suficiente, el sistema se acerca todo lo posible al estado estacionario.

Sin embargo, si una de las λ es positiva o nula, el equilibrio es *inestable*.

Por último, si algunas λ son positivas y complejas, el sistema contiene términos periódicos, ya que la función exponencial para exponentes complejos tiene la forma:

$$e^{(a-ib)t} = e^{at}(\cos bt - i \operatorname{sen} bt).$$

En este caso habrá *fluctuaciones periódicas*, que, generalmente están amortiguadas.

Como ilustración considérese el caso más sencillo, con $n=2$; un sistema consistente en dos clases de elementos:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dQ_1}{dt} &= f_1\ (Q_1, Q_2) \\ \frac{dQ_2}{dt} &= f_2\ (Q_1, Q_2) \end{aligned}\right\} \tag{3.9}$$

Con tal que las funciones, una vez más, puedan desarrollarse en serie de Taylor, la solución es:

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= Q_1^* - G_{11}e^{\lambda_1 t} - G_{12}e^{\lambda_2 t} - G_{111}e^{2\lambda_1 t} - \dots \\ Q_2 &= Q_2^* - G_{21}e^{\lambda_1 t} - G_{22}e^{\lambda_2 t} - G_{211}e^{2\lambda_1 t} - \dots \end{aligned}\right\} \tag{3.10}$$

con $Q_1{}^*$, $Q_2{}^*$ como valores estacionarios de Q_1, Q_2, obtenidos haciendo $f_1 = f_2 = 0$; las G son constantes de integración y λ raíces de la ecuación característica:

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

o, desarrollando:

$$(a_{11} - \lambda)\ (a_{22} - \lambda) - a_{12}a_{21} = 0,$$
$$\lambda^2 - \lambda C + D = 0,$$

$$\lambda = \frac{C}{2} \pm \sqrt{-D + \left(\frac{C}{2}\right)^2}$$

con:

$$C = a_{11} + a_{22}; \quad D = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}.$$

En el caso:

$$C < 0,\ D > 0,\ E = C^2 - 4D > 0,$$

ambas soluciones de la ecuación característica son negativas. Así se da un *nodo;* el sistema se acercará a un estado estacionario estable $(Q_1{}^*, Q_2{}^*)$ a medida que $e^{-\infty}$ tiende a 0, y con ello los términos segundo y siguientes disminuyen continuamente (Fig. 3.2).

En el caso:

$$C < 0,\ D > 0,\ E = C^2 - 4D < 0.$$

ambas soluciones de la ecuación característica son complejas, con parte real negativa. En este caso tenemos un *bucle* y los puntos (Q_1, Q_2) tienden hacia $(Q_1{}^*, Q_2{}^*)$ describiendo una curva espiral.

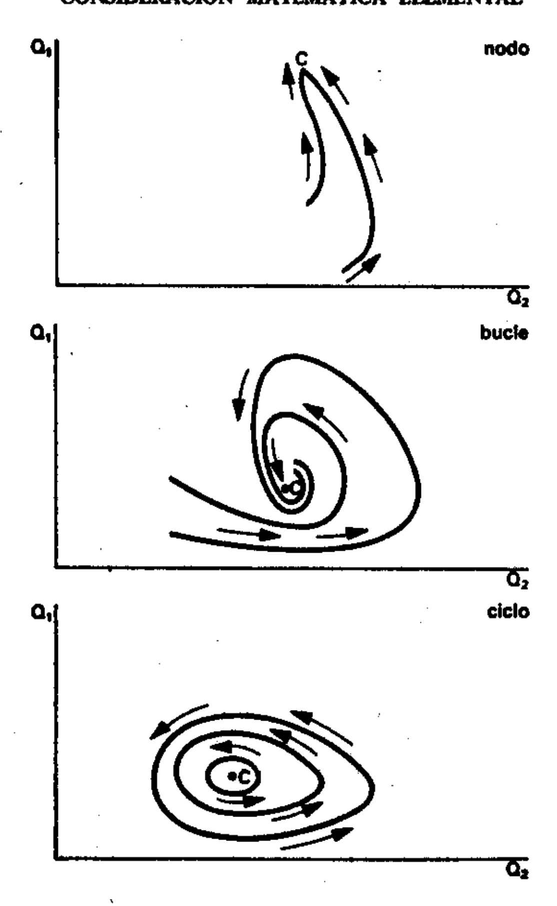


Fig. 3.2.

En el caso:

$$C=0,\ D>0,\ E<0,$$

ambas soluciones son imaginarias, de suerte que la solución contiene términos periódicos; habrá oscilaciones o ciclos en torno a los valores estacionarios. El punto (Q_1, Q_2) describe una *curva cerrada* alrededor de (Q_1^*, Q_2^*).

En el caso:

$$C>0,\ D<0,\ E>0,$$

ambas soluciones son positivas y no hay estado estacionario.

Crecimiento

Ecuaciones de este tipo se presentan en diversos campos, y puede usarse el sistema (3.1) para ilustrar la identidad formal de las leyes de sistemas en varios territorios o, en otras palabras, para demostrar la existencia de una teoría general de los sistemas.

Esto puede ser mostrado en el caso más sencillo, el del sistema consistente en elementos de sólo una clase. En tal caso el sistema de ecuaciones se reduce a la única ecuación:

$$\frac{dQ}{dt} = f(Q), \qquad (3.11)$$

que puede desarrollarse en serie de Taylor:

$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q + a_{11} Q^2 + \dots \qquad (3.12)$$

Esta serie no contiene un término absoluto para el caso de no haber «generación espontánea» de elementos. De suerte que dQ/dt desaparecerá para $Q = 0$, la cual sólo es posible si el término absoluto es igual a 0.

La posibilidad más sencilla se realiza cuando nos quedamos sólo con el primer término de la serie:

$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q. \qquad (3.13)$$

Esto significa que el crecimiento del sistema es directamente proporcional al número de elementos presentes. Según la constante a_1 sea positiva o negativa, el crecimiento del sistema será positivo o negativo y el sistema aumentará o disminuirá. La solución es:

$$Q = Q_0 e^{a_1 t} \qquad (3.14)$$

donde Q_0 significa el número de elementos cuando $t = 0$. Es la *ley exponencial* (Fig. 3.3), que se halla en tantos campos.

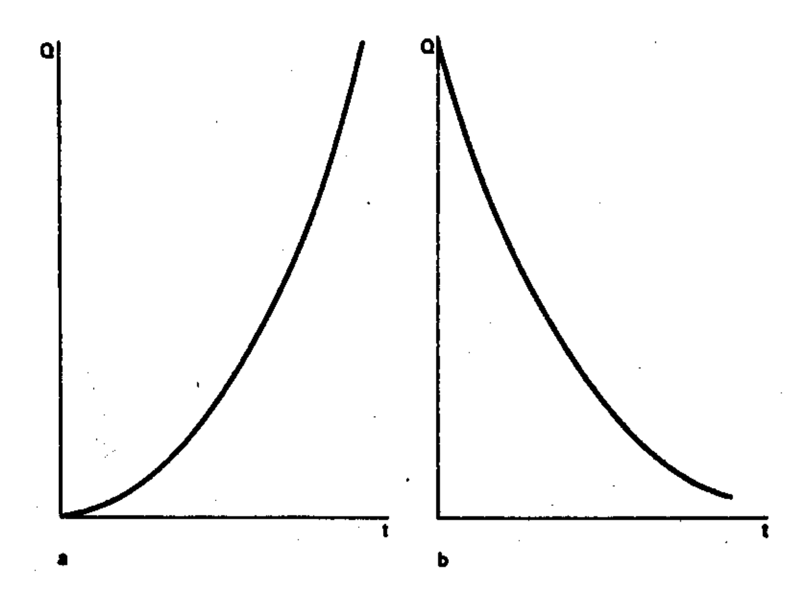


Fig. 3.3. Curvas exponenciales.

En matemáticas, la ley exponencial se denomina «ley de crecimiento natural», y con $a_1 > 0$ es válida para el aumento del capital por interés compuesto. Biológicamente se aplica al crecimiento individual de ciertas bacterias y animales. Sociológicamente, es válida para la multiplicación sin restricciones de poblaciones vegetales o animales, en el caso más sencillo la multiplicación de bacterias al dividirse cada individuo en dos, que dan cuatro, etc. En la ciencia social se llama ley de Malthus y representa el crecimiento ilimitado de una población cuya tasa de natalidad es superior a la de mortalidad. Describe también el aumento del conocimiento humano, medido en páginas de texto dedicadas a descubrimientos científicos, o el número de publicaciones acerca de la drosofila (Hersh, 1942). Con constante negativa ($a_1 < 0$), la ley exponencial se aplica a la desintegración radiactiva, a la descomposición de un compuesto químico por reacción monomolecular, al exterminio de bacterias por radiación o veneno, a la pérdida de sustancia corporal por hambre en un organismo multicelular, al ritmo de extinción de una población en la cual la tasa de mortalidad es superior a la de natalidad, etc.

Volviendo a la ecuación (3.12) y conservando dos términos se tiene:

$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q + a_{11} Q^2 \tag{3.15}$$

Una solución de esta ecuación es:

$$Q = \frac{a_1 C e^{a_1 t}}{1 - a_{11} C e^{a_1 t}} \tag{3.16}$$

La retención del segundo término acarrea una importante consecuencia. La expresión exponencial simple (3.14) exhibe un incremento infinito; tomando en cuenta el segundo término se obtiene una curva que es sigmoide y alcanza un valor límite. Se trata de la llamada *curva logística* (Fig. 3.4), también de muy diversa aplicación.

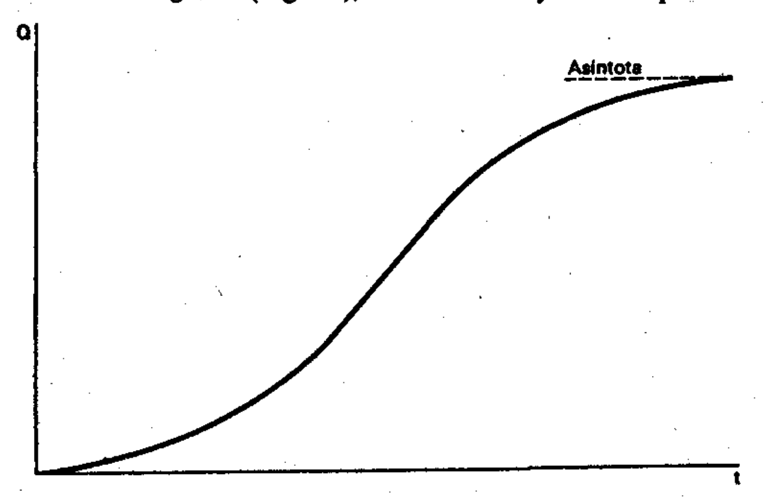


Fig. 3.4. Curva logística.

En química ésta es la curva de una reacción autocatalítica, o sea de una reacción en la cual un producto formado acelera su propia producción. En sociología es la ley de Verhulst (1838), que describe el crecimiento de poblaciones humanas con recursos limitados.

Con todo y ser matemáticamente triviales, estos ejemplos ilustran

un punto que nos interesa ahora, a saber: el hecho de que pueda llegarse a ciertas leyes de la naturaleza no sólo sobre la base de la experiencia sino también de manera puramente formal. Las ecuaciones discutidas no significan más que el sistema harto general de ecuaciones (3.1), su desarrollo en serie de Taylor y la aplicación de condiciones adecuadas. En este sentido tales leyes son *a priori,* independientes de su interpretación física, química, biológica, sociológica, etc. En otras palabras, esto muestra la existencia de una teoría general de los sistemas que se ocupa de las características formales de los sistemas; aparecen hechos concretos en aplicaciones especiales, definiendo variables y parámetros. Dicho aun de otra manera, tales ejemplos muestran una uniformidad formal en la naturaleza.

Competencia

Nuestro sistema de ecuaciones también puede indicar competencia entre partes.

El caso más sencillo posible es, una vez más, aquel en que todos los coeficientes $a_{j \neq i} = 0$, o sea que el incremento de cada elemento depende sólo de este. Para dos elementos tenemos entonces:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dQ_1}{dt} &= a_1 Q_1 \\ \frac{dQ_2}{dt} &= a_2 Q_2 \end{aligned}\right\} \tag{3.17}$$

o bien:

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= c_1 e^{a_1 t} \\ Q_2 &= c_2 e^{a_2 t} \end{aligned}\right\} \tag{3.18}$$

Eliminando el tiempo obtenemos:

$$t = \frac{\ln Q_1 - \ln c_1}{a_1} = \frac{\ln Q_2 - \ln c_2}{a_2} \tag{3.19}$$

y

$$Q_1 = b Q_2^{\alpha} \tag{3.20}$$

con

$$\alpha = a_1/a_2, \quad b = c_1/c_2^{\alpha}$$

Esta es la ecuación conocida en biología como *ecuación alométrica*. En esta discusión se ha supuesto (3.17 y 3.18) la forma más sencilla de crecimiento de las partes: la exponencial. Sin embargo, la relación alométrica vale también para casos algo más complicados, tales como el crecimiento que sigue la parábola, la curva logística o la función de Gompertz, estricta o aproximadamente (Lumer, 1937).

La ecuación alométrica se aplica a una amplia gama de datos morfológicos, bioquímicos, fisiológicos y filogenéticos. Significa que determinada característica Q_1 puede ser expresada como función exponencial de otra característica Q_2. Tómese, p. ej., la morfogénesis. La longitud o el peso de determinado órgano, Q_1, es en general función alométrica del tamaño de otro órgano o de la longitud o el peso totales del organismo en cuestión, Q_2. El sentido queda claro si escribimos la ecuación (3.17) levemente modificada:

$$\frac{dQ_1}{dt} \cdot \frac{1}{Q_1} : \frac{dQ_2}{dt} \cdot \frac{1}{Q_2} = \alpha, \tag{3.21}$$

o bien:

$$\frac{dQ_1}{dt} = \alpha \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{dQ_2}{dt} \tag{3.22}$$

La ecuación (3.21) enuncia que los ritmos relativos de crecimiento (o sea su incremento calculado como porcentaje del tamaño real) de las partes consideradas, Q_1 y Q_2, guardan una razón constante durante la vida, o durante un ciclo vital en el cual sea válida la ecuación alométrica. Esta relación, bastante sorprendente (en vista de la complejidad inmensa de los procesos de crecimiento, parecería a primera vista improbable que el crecimiento de partes estuviera gobernado por una ecuación algebraica tan sencilla), es explicada por la ecuación (3.22). De acuerdo con ella, puede interpretarse como resultado de un proceso de distribución. Tómese Q_2 como el organismo entero; entonces la ecuación (3.22) afirma que el órgano Q_1 toma, del incremento resultante del metabolismo del organismo total (dQ_2/dt), una participación que es proporcional

a su razón con respecto a la primera magnitud *(Q_1/Q_2)*. Un coeficiente de partición es α, que indica la capacidad del órgano para captar su parte. Si $a_1 > a_2$, es decir, si la intensidad de crecimiento de Q_1 es mayor que la de Q_2, entonces $\alpha = a_1/a_2 > 1$; el órgano capta más que otras partes y, así, crece más rápidamente que éstas, o con alometría positiva. A la inversa, si $a_1 < a_2$, o sea $\alpha > 1$, el órgano crece más despacio, o exhibe alometría negativa. Similarmente, la ecuación alométrica se aplica a cambios bioquímicos en el organismo, y a funciones fisiológicas. P. ej., el metabolismo basal aumenta, en vastos grupos de animales, con $\alpha = 2/3$, con respecto al peso corporal si se comparan animales de la misma especie o de especies relacionadas; esto significa que el metabolismo basal es, en general, función de superficie del peso corporal. En algunos casos, tales como las larvas de insectos y los caracoles, $\alpha = 1$, o sea que el metabolismo basal es proporcional al peso mismo.

En sociología, la expresión en cuestión es la *ley de Pareto* (1897) de la distribución del ingreso en una nación, con lo cual $Q_1 = bQ_2^{\alpha}$, con Q_1 = número de individuos que ganan determinado ingreso, Q_2 = magnitud del ingreso, y b y α constantes. La explicación es análoga a la antes dada, poniendo «ingreso nacional» en vez de «incremento del organismo total», y «capacidades económicas de los individuos en cuestión» en lugar de «constante de distribución».

La situación se complica si se suponen interacciones entre las partes del sistema, si $a_{j \neq i} \neq 0$. Se llega entonces a sistemas de ecuaciones como las estudiadas por Volterra (1931) para la competencia entre especies y, de manera correspondiente, por Spiegelman (1945) para la competencia dentro de un organismo. En vista de que estos casos están cabalmente discutidos en la bibliografía, no entraremos en discusiones detalladas. Baste con mencionar un par de puntos de interés general.

Es una consecuencia interesante el que, en las ecuaciones de Volterra, la competencia entre dos especies por los mismos recursos sea, en cierto sentido, más fatal que una relación predador-presa, que la aniquilación parcial de una especie por la otra. La competencia conduce a fin de cuentas al exterminio de la especie con menor capacidad de crecimiento; una relación predador-presa sólo conduce a oscilación periódica en las abundancias de las especies en cuestión, en torno a un valor medio. Estas relaciones han sido enunciadas

para sistemas biocenóticos, pero bien pudiera ser que tuviesen también implicaciones sociológicas.

Hay que mencionar otro punto de interés filosófico. Si hablamos de «sistemas», aludimos a «totalidades» o «unidades». Parece entonces paradójico que sea introducido con respecto a un todo el concepto de competencia entre sus partes. La verdad es que estas afirmaciones en apariencia contradictorias tocan ambas aspectos esenciales de los sistemas. Cada todo se basa en la competencia entre sus elementos y presupone la «lucha entre partes» (Roux). Es un principio general de organización en sistemas fisicoquímicos sencillos así como en organismos y unidades sociales, y es en última instancia expresión de la *coincidentia oppositorum* que la realidad presenta.

Totalidad, suma, mecanización, centralización

Los conceptos que acabamos de indicar han sido tomados a menudo como descripciones de características de seres vivos nada más, o incluso como prueba del vitalismo. La verdad es que son propiedades formales de los sistemas.

1) Volvamos a suponer que las ecuaciones (3.1) pueden desarrollarse en serie de Taylor:

$$\frac{dQ_1}{dt} = a_{11}Q_1 + a_{12}Q_2 + \ldots a_{1n}Q_n + a_{111}Q_2{}^1 + \ldots \qquad (3.23)$$

Vemos que cualquier cambio en alguna magnitud Q_1 es función de las cantidades de todos los elementos Q_1 a Q_n. Por otro lado, un cambio en determinada Q_i provoca un cambio en todos los demás elementos y en el sistema total. De modo que el sistema se conduce como un *todo*, y los cambios en cada elemento dependen de todos los demás.

2) Sean ahora nulos los coeficientes de las variables Q_j $(j \neq i)$. El sistema de ecuaciones degenera a:

$$\frac{dQ_i}{dt} = a_{i1}Q_i + a_{i11}Q_i^2 + \ldots \qquad (3.24)$$

Esto significa que un cambio en cada elemento depende sólo de dicho elemento mismo. Entonces cada elemento puede ser considerado independiente de los otros. La variación del complejo total es la suma (física) de las variaciones en sus elementos. Podemos

llamar a este comportamiento *sumatividad física* o *independencia*.

Puede definirse la sumatividad diciendo que es posible constituir paso a paso un complejo juntando los elementos primeros separados; a la inversa, las características del complejo pueden ser analizadas completamente en las de los elementos separados. Esto vale para los complejos que pudiéramos llamar «montones», tales como un montón de ladrillos o de cosas revueltas, o para fuerzas mecánicas, actuantes de acuerdo con el paralelogramo de las fuerzas. No se aplica a los sistemas llamados en alemán *Gestalten*. Tómese el más sencillo ejemplo: tres conductores eléctricos tienen ciertas cargas que pueden medirse por separado en cada uno. Mas si se conectan con alambres, la carga en cada conductor depende de la constelación total y difiere de su carga cuando está aislado.

Aunque esto sea trivial desde el punto de vista de la física, no está de más subrayar el carácter no sumativo de los sistemas físicos y biológicos en vista de que la actitud metodológica ha estado —y sigue así en gran medida— determinada por el programa mecanicista (von Bertalanffy, 1949a, 1960). En un libro de Lord Russell (1948) hallamos un rechazo algo sorprendente del «concepto de organismo». De acuerdo con Russell, tal concepto afirma que las leyes que gobiernan el comportamiento de las partes sólo pueden ser enunciadas considerando el lugar de las partes en el todo. Russell rechaza este punto de vista. Pone el ejemplo de un ojo, cuya función como receptor de luz puede entenderse perfectamente si el ojo está aislado, sin tomar en cuenta más que las reacciones fisicoquímicas internas y los estímulos entrantes y salientes. «El progreso científico se ha hecho por análisis y aislamiento artificial... En todo caso, pues, será prudente adoptar el punto de vista mecanicista como hipótesis de trabajo, que se abandonará sólo cuando haya testimonios claros en contra. Por lo que respecta a los fenómenos biológicos, tales testimonios están completamente ausentes hasta la fecha.» Es cierto que los principios de sumatividad son aplicables al organismo vivo hasta determinado punto. La palpitación de un corazón, la contracción de una preparación de nervio y músculo, los potenciales de acción en un nervio, son casi enteramente iguales si se estudian aislados o en el organismo en conjunto. Esto se aplica a los fenómenos que definiremos más tarde como acontecidos en sistemas parciales altamente «mecanizados». Pero las palabras de Russell son profundamente equivocadas precisamente con respecto a los fenómenos biológicos básicos y primarios. Si se toma

cualquier terreno de fenómenos biológicos, ya sea el desarrollo embrionario, el metabolismo, el crecimiento, la actividad del sistema nervioso, las biocenosis, etc., siempre se hallará que el comportamiento de un elemento es diferente dentro del sistema de como es aislado. No puede sumarse el comportamiento de las partes aisladas y obtener el del todo; hay que tener en cuenta las relaciones entre los varios sistemas subordinados y los sistemas que les están superordinados, a fin de comprender el comportamiento de las partes. El análisis y el aislamiento artificial son útiles, pero en modo alguno suficientes, como métodos de experimentación y teorización en biología.

3) La *sumatividad en sentido matemático* significa que el cambio en el sistema total obedece a una ecuación de la misma forma que las ecuaciones de las partes. Esto sólo es posible cuando las funciones del lado derecho de la ecuación contienen términos lineales nada más; caso trivial.

4) Hay un caso más, que parece desacostumbrado en sistemas físicos pero es común y fundamental en sistemas biológicos, psicológicos y sociológicos. Se trata del caso en que las interacciones entre los elementos disminuyen con el tiempo. En términos de nuestra ecuación modelo básica (3.1), esto quiere decir que los coeficientes de las Q_i no son constantes sino que disminuyen con el tiempo. El caso más sencillo sería:

$$\lim_{t \to \infty} a_{ij} = 0 \qquad (3.25)$$

En este caso el sistema pasa de un estado de totalidad a un estado de independencia de los elementos. El estado primario es el de un sistema unitario que se va escindiendo gradualmente en cadenas causales independientes. A esto podemos llamarlo *segregación progresiva.*

Por regla general, la organización de todos los físicos, tales como átomos, moléculas o cristales, resulta de la unión de elementos preexistentes. En contraste, la organización de todos biológicos está constituida por diferenciación de un todo original que se segrega en partes. Un ejemplo es la determinación en el desarrollo embrionario, cuando el germen pasa de un estado de equipotencialidad

a un estado en que se comporta como un mosaico o suma de regiones que se desenvuelven independientemente dando órganos definidos. Lo mismo vale en el desarrollo y la evolución del sistema nervioso y de la conducta, partiendo de acciones del cuerpo entero o de grandes regiones y pasando al establecimiento de centros definidos y arcos reflejos localizados, y en otros muchos fenómenos biológicos.

La razón del predominio de la segregación en la naturaleza viviente parece ser que la segregación en sistemas parciales subordinados implica un aumento de complejidad en el sistema. Semejante tránsito hacia un orden superior presupone suministro de energía, y ésta sólo es dada continuamente al sistema si tal sistema es abierto y toma energía del medio circundante. Hemos de volver más adelante a esta cuestión.

En el estado de totalidad, una perturbación del sistema conduce a la introducción de un nuevo estado de equilibrio. Sin embargo, si el sistema está escindido en cadenas causales separadas, éstas marchan independientemente. Mecanización creciente significa determinación creciente de elementos por funciones sólo dependientes de ellos mismos, con la consiguiente pérdida de regulabilidad sustentada en el sistema en conjunto, en virtud de las interrelaciones presentes. Mientras menores se hacen los coeficientes de interacción, mejor pueden desdeñarse los respectivos términos Q_i, y más parecido a una máquina es el sistema: como una suma de partes independientes.

Este hecho, que puede llamarse «mecanización progresiva», desempeña un importante papel en biología. Parece que lo primario es el comportamiento resultante de la interacción dentro del sistema; secundariamente está la determinación de los elementos a acciones que sólo dependen de ellos, con lo cual se pasa a un comportamiento sumativo. Se dan ejemplos en el desarrollo embrionario: en un principio lo que ocurre con cada región depende de su posición en el todo, de modo que es posible regulación después de perturbación arbitraria; posteriormente las regiones embrionarias quedan determinadas para una evolución fija, para el desarrollo de cierto órgano. Similarmente, en el sistema nervioso hay partes que se tornan centros irreemplazables para ciertos funcionamientos, p. ej. reflejos. En el reino biológico, sin embargo, la mecanización nunca es completa; aun cuando el organismo esté en parte mecanizado, no deja de ser un sistema unitario; tal es el fundamento de la

regulación y de la interacción con las cambiantes exigencias del medio circundante. Similares consideraciones son aplicables a las estructuras sociales. En una comunidad primitiva cada miembro puede hacer casi cualquier cosa que pueda esperarse en su conexión con el todo; en una comunidad altamente diferenciada cada miembro está determinado para una actividad o complejo de actividades definidas. Se alcanza el caso extremo en ciertas comunidades de insectos, cuyos individuos, por así decirlo, se han transformado en máquinas destinadas a determinados desempeños. La determinación de los individuos para ser obreras o soldados en algunas comunidades de hormigas, merced a diferencias en la alimentación en ciertas etapas, se parece pasmosamente a la determinación ontogenética de regiones germinales orientadas a determinado destino en su desarrollo.

En este contraste entre totalidad y suma reside la trágica tensión que hay en toda evolución biológica, psicológica o sociológica. El progreso sólo es posible pasando de un estado de totalidad indiferenciada a la diferenciación de partes. Esto implica, sin embargo, que las partes se tornen fijas, dedicadas a tal o cual acción. O sea que la segregación progresiva significa asimismo mecanización progresiva. Y ésta, a su vez, implica pérdida de regulabilidad. Mientras un sistema sea un todo unitario, una perturbación irá seguida del alcanzamiento de un nuevo estado estacionario debido a interacciones dentro del sistema. El sistema se autorregula. No obstante, si el sistema se escinde en cadenas causales independientes, la regulabilidad desaparece. Los procesos parciales seguirán cada uno su camino. Es el comportamiento que encontramos, p. ej., en el desarrollo embrionario, donde la determinación va aparejada a disminución en la regulabilidad.

El progreso sólo es posible por subdivisión de una acción inicialmente unitaria en acciones de partes especializadas. Esto, sin embargo, significa a la vez empobrecimiento, pérdida de posibilidades que aún están al alcance del estado indeterminado. Mientras más partes se especializan de determinado modo, más irreemplazables resultan, y la pérdida de partes puede llevar a la desintegración del sistema total. En lenguaje aristotélico, toda evolución, al desplegar alguna potencialidad, aniquila en capullo muchas otras posibilidades. Esto aparece en el desarrollo embrionario así como en la especialización filogenética, o en la especialización en la ciencia o en la vida cotidiana (von Bertalanffy, 1949a, 1960, pp. 42*ss*).

El comportamiento en conjunto y el comportamiento sumativo, las concepciones unitaria y elementalista, suelen tenerse por antítesis. Pero a menudo se halla que no hay oposición entre los términos, sino transición gradual del comportamiento de conjunto al comportamiento sumativo.

5) Vinculado a éste, hay un principio más. Supóngase que los coeficientes de un elemento p_s son grandes en todas las ecuaciones, en tanto que los coeficientes de los demás elementos son considerablemente menores o hasta nulos. En tal caso el sistema puede adquirir este aspecto:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dQ_1}{dt} &= a_{11}Q_1 + \dots\ a_{1s}Q_s + \dots \\ \frac{dQ_s}{dt} &= a_{s1}Q_s + \dots \\ \frac{dQ_n}{dt} &= a_{ns}Q_s + \dots\ a_{n1}Q_n + \dots\end{aligned}\right\} \qquad (3.26)$$

si para simplificar escribimos sólo los miembros lineales.

Hay entonces relaciones que son expresables de varias maneras. Podemos llamar al elemento p_s una *parte conductora*, o decir que el sistema está *centrado* alrededor de p_s. Si los coeficientes a_{is} de p_s en algunas ecuaciones, o en todas, son grandes en tanto que los coeficientes de p_s en su ecuación son pequeños, un cambio exiguo en p_s causará un cambio considerable del sistema total. Así, p_s pudiera denominarse *disparador*. Un pequeño cambio en p_s será «amplificado» en el sistema total. Desde el punto de vista energético, en este caso no encontramos «causalidad de conservación» *(Erhaltungskausalität)*, donde vale el principio *causa aequat effectum*, sino «causalidad de instigación» *(Anstosskausalität)* (Mittasch, 1948): un cambio energéticamente insignificante en p_s provoca un cambio considerable en el sistema total.

El principio de centralización es especialmente importante en el reino biológico. La segregación progresiva está a menudo asociada a centralización progresiva, cuya expresión es la evolución, dependiente del tiempo, de una parte conductora, es decir, una combinación de los esquemas (3.25) y (3.26). Al mismo tiempo, el principio de centralización progresiva lo es de individualización progresiva. Puede definirse un «individuo» como un sistema centralizado. Estric-

tamente hablando, en el dominio biológico éste es un caso límite, al cual sólo hay acercamiento ontogenético y filogenético; el organismo, en virtud de la centralización progresiva, se hace más y más unificado y «más indivisible».

Todos estos hechos se observan en múltiples sistemas. Nicolai Hartmann llega a solicitar centralización para toda «estructura dinámica». Reconoce sólo unas cuantas clases de estructuras, en el reino físico, las de mínimas dimensiones (el átomo como sistema planetario de electrones alrededor de un núcleo) y las de grandes dimensiones (sistemas planetarios con un sol en medio), Desde el punto de vista biológico haríamos hincapié en la mecanización y la centralización progresivas. El estado primitivo es aquel en el que el comportamiento del sistema resulta de las interacciones de partes equipotenciales; progresivamente se verifica la subordinación a partes dominantes. En embriología, p. ej., éstas se llaman organizadores (Spemann); en el sistema nervioso central, las partes empiezan por ser en alto grado equipotenciales, como en los sistemas nerviosos difusos de los animales inferiores; luego se establece la subordinación a centros rectores del sistema nervioso.

O sea que, análogo a la mecanización progresiva, en biología aparece un principio de centralización progresiva, simbolizada por la formación de partes conductoras mediada por el tiempo, o sea una combinación de los esquemas (3.25) y (3.26). Este modo de ver las cosas ilumina un concepto importante pero no fácilmente definible, el de *individuo*. Esta palabra quiere decir «indivisible». Pero ¿será posible llamar «individuo» a una planaria o a una hidra, en vista de que, si estos animales son cortados en muchos pedazos, cada uno regenera un animal completo? Es fácil crear experimentalmente hidras de dos «cabezas», las cuales competirán para atrapar una pulga de agua, si bien no tiene la menor importancia qué lado se la engulla, pues irá a dar al estómago común, donde será digerida para beneficio de todas las partes. Incluso en organismos superiores es dudosa la individualidad, al menos en el desarrollo inicial. No sólo cada mitad de un embrión de erizo de mar dividido, sino también las mitades de un embrión de salamandra se desarrollan dando animales completos; los gemelos idénticos humanos son, por así decirlo, resultado de un experimento de Driesch realizado por la naturaleza. Consideraciones análogas se aplican al comportamiento de animales: en los inferiores puede haber tropotaxia en la acción antagonista de las mitades del cuerpo si están apropiadamente ex-

puestas a estímulos; ascendiendo por la escala evolutiva aparece la centralización creciente; el comportamiento no es resultado de mecanismos parciales de igual jerarquía, sino que lo dominan y unifican los centros máximos del sistema nervioso (cf. von Bertalanffy, 1937; pp. 131*ss*, 139*ss*).

Así que, estrictamente hablando, la individualidad biológica no existe; sólo la individualización progresiva en la evolución y el desarrollo, resultante de centralización creciente, por ganar algunas partes un papel dominante y determinar con ello la conducta del conjunto. Aquí el principio de *centralización progresiva* constituye también una *individualización progresiva.* Hay que definir el individuo como un sistema centrado, lo cual de hecho es un caso límite al cual tienden el desarrollo y la evolución, de modo que el organismo se vuelve más unificado e «indivisible» (cf. von Bertalanffy, 1932; pp. 269*ss*). En el campo psicológico, un fenómeno parecido es el carácter «centrado» de las *Gestalten,* v. gr. en la percepción; tal carácter parece necesario para que una *Gestalt* psíquica se distinga de otras. En contraste con el «principio de ausencia de jerarquía» de la psicología asociativa, Metzger afirma (1941, p. 184) que «cualquier formación, objeto, proceso o experiencia psíquicos, hasta las más simples *Gestalten* de la percepción, exhibe cierta distribución de peso y cierta centralización; hay orden jerárquico, a veces una relación derivada, entre sus partes, lugares, propiedades». Una vez más vale lo mismo en el dominio sociológico: una multitud amorfa no tiene «individualidad»; para que una estructura social se distinga de otras, es necesario el agrupamiento en torno a determinados individuos. Por esta precisa razón, una biocenosis como un lago o un bosque no es un «organismo», ya que un organismo individual siempre está centrado en mayor o menor grado.

El descuido del principio de la mecanización y la centralización progresivas ha conducido muchas veces a seudoproblemas, porque sólo fueron reconocidos los casos límite de elementos independientes y sumativos o, si no, la interacción completa entre elementos equivalentes, y no los grados intermedios, biológicamente importantes. Esto tiene su lugar con respecto a los problemas del «gene» y del «centro nervioso». La genética antigua (no ya la moderna) tendía a considerar la sustancia hereditaria como suma de unidades corpusculares determinantes de las características individuales de los órganos; es evidente que una suma de macromoléculas no puede producir la totalidad organizada del organismo. La respuesta correc-

ta es que el genoma en conjunto produce el organismo en conjunto, pero que ciertos genes determinan preeminentemente la dirección del desarrollo de ciertos caracteres —actúan, pues, como «partes conductoras». Esto queda expresado diciendo que todo rasgo hereditario es codeterminado por muchos genes, quizá por todos, y que todo gene influye no nada más sobre un rasgo sino sobre muchos, acaso sobre el organismo total (poligenia de caracteres y polifenia de genes). Parecidamente, en la función del sistema nervioso hubo sin duda la posibilidad de optar entre una suma de mecanismos para las distintas funciones, o una red nerviosa homogénea. También aquí la concepción correcta es que cualquier función resulta a fin de cuentas de la interacción de todas las partes, pero que algunas partes del sistema nervioso central influyen sobre ella decisivamente y pueden por tanto llamarse «centros» de dicha función.

6) Una formulación más general (pero menos visualizable) de lo que se ha dicho es la siguiente. Si el cambio de Q_i es alguna función F_i de las Q_i y sus derivadas en coordenadas espaciales, tenemos:

(2) Si $\frac{\delta F_i}{\delta Q_j} = 0,\ i \neq j$:. «independencia».

(4) Si $\frac{\delta F_i}{\delta Q_j} = f(t), \lim_{t \to \infty} \frac{\delta F_i}{\delta Q_j} = 0$: «mecanización progresiva».

(5) Si $\frac{\delta F_i}{\delta Q_s} \gg \frac{\delta F_i}{\delta Q_j}, j \neq s$, o incluso: $\frac{\delta F_i}{\delta Q_j} = 0$: Q_s es la «parte dominante».

7) El concepto de sistema esbozado requiere un importante complemento. Los sistemas están frecuentemente estructurados de modo que sus miembros son a su vez sistemas del nivel inmediato inferior. Cada uno de los elementos denotados por $Q_1, Q_2 \ldots Q_n$ es un sistema de elementos $O_{i1}, O_{i2} \ldots O_{in}$, cada uno de los cuales es a su vez definible por ecuaciones parecidas a las de (3.1):

$$\frac{dO_{il}}{dt} = f_{il}(O_{i1}, o_{i2}, \ldots O_{in}).$$

Tal superposición de sistemas se llama *orden jerárquico*. Para sus niveles vuelven a ser aplicables los aspectos de totalidad y sumatividad, mecanización progresiva, centralización, finalidad, etc.

Semejante estructura jerárquica y combinación en sistemas de orden creciente es característica de la realidad como un todo y tiene fundamental importancia especialmente en biología, psicología y sociología.

8) Es importante la distinción entre *sistemas cerrados* y *abiertos* que se discutirá en los capítulos VI-VIII.

Finalidad

Como hemos visto, sistemas de ecuaciones del tipo considerado tienen tres clases de soluciones. El sistema en cuestión puede alcanzar asintóticamente un estado estacionario con el correr del tiempo; puede no alcanzar jamás tal estado, o puede haber oscilaciones periódicas. En caso de que el sistema se acerque a un estado estacionario, su variación será expresable no sólo en términos de las condiciones reales sino también en términos de la distancia que lo separe del estado estacionario. Si Q_i^* son las soluciones para el estado estacionario, pueden introducirse nuevas variables:

$$Q_i = Q_i^* - Q_i'$$

de tal manera que:

$$\frac{dQ_1}{dt} = f(Q_1^* - Q_1')\ (Q_2^* - Q_2')\dots\ (Q_n^* - Q_n') \qquad (3.27)$$

Podemos expresar esto como sigue: en caso de que un sistema se acerque a un estado estacionario, los cambios que se den pueden ser expresados no sólo en términos de condiciones reales sino también en términos de la distancia que los separa del estado de equilibrio; el sistema parece «tender» a un equilibrio que será alcanzado en el porvenir. O bien los acontecimientos pueden expresarse como dependientes de un estado futuro final.

Por largo tiempo se ha sostenido que ciertas formulaciones de la física tienen un carácter en apariencia finalista. Esto se aplica a dos aspectos. Tal teleología se apreciaba especialmente en los *principios de mínimos de la mecánica.* Ya Maupertuis consideraba su principio de mínimo como prueba de que el mundo en el que entre tantos movimientos virtuales es realizado aquel que lleva al máximo efecto con el mínimo esfuerzo, es «el mejor de los mundos» y obra de un creador intencionado. Euler hizo una observa-

ción afín: «Ya que la fábrica del mundo entero es la más eminente y como se originó del creador más sabio, nada se encuentra en el mundo que no exhiba una característica máxima o mínima.» Se discierne un aspecto teleológico parecido en el principio fisicoquímico de Le Châtelier, y en la regla de Lenz en electricidad. Todos estos principios expresan que en caso de perturbación el sistema genera fuerzas que contrarrestan dicha perturbación y restauran el estado de equilibrio; son derivaciones del principio del mínimo esfuerzo. Para cualquier tipo de sistema existen principios homólogos del principio de mínima acción en mecánica; así Volterra (cf. D'Ancona, 1939, pp. 98*ss*) mostró que puede desarrollarse una dinámica de poblaciones homóloga de la dinámica en mecánica, y en la cual aparece un principio análogo de mínima acción.

El error conceptual de una interpretación antropomórfica es fácil de advertir. El principio de mínima acción y los principios afines resultan simplemente del hecho de que, si un sistema alcanza un estado de equilibrio, las derivadas se anulan; esto implica variables que alcanzan un extremo, mínimo o máximo; sólo cuando éstas son denotadas por términos antropomorfos como efecto, constreñimiento, trabajo, etc. emerge en la acción física una aparente teleología de los procesos físicos (cf. Bavink, 1944).

También puede hablarse de la finalidad en el sentido de *dependencia con respecto al futuro*. Según se ve en la ecuación (3.27), los aconteceres pueden de hecho ser considerados y descritos como determinados no por las condiciones del momento sino también por el estado final que ha de alcanzarse. En segundo lugar, esta formulación es de naturaleza general; no sólo se aplica a la mecánica sino a cualquier clase de sistema. En tercer lugar, la cuestión ha sido muchas veces mal interpretada en biología y filosofía, lo cual impone no poca importancia a su clarificación.

Para cambiar, tomemos una ecuación de crecimiento formulada por este autor (von Bertalanffy, 1934, y otros lugares). La ecuación es: $l = l^* - (l^* - l_0 e^{-kt})$ (cf. pp. 178 *ss*), donde l representa la longitud del animal en el tiempo t, l^* la longitud final, l_0 la longitud inicial y k una constante. Se diría que la longitud l del animal en el tiempo t estuviese determinada por el valor final l^*, que no se alcanzará hasta después de un tiempo infinitamente largo. Sin embargo, el estado final (l^*) es sencillamente una condición de extremo obtenida igualando a cero el cociente diferencial, de suerte que desaparezca. Para hacerlo tenemos que empezar por conocer la

ecuación diferencial que determina de hecho el proceso. Esta ecuación es $dl/dt = E - kl$ y afirma que el crecimiento es determinado por una acción encontrada de procesos de anabolismo y catabolismo, con parámetros E y k respectivamente. En esta ecuación el proceso en el tiempo t es determinado sólo por las condiciones actuales y no aparece estado venidero. Igualando a cero, l^* se define por E/k. La fórmula «teleológica» de valor final, pues, sólo es una transformación de la ecuación diferencial que indica condiciones actuales. En otras palabras, la dirección del proceso hacia un estado final no es cosa que difiera de la causalidad, sino otra expresión de ella. El estado final por alcanzarse en el futuro no es *vis a fronte* que atraiga misteriosamente al sistema, sino apenas otra expresión para *vis a tergo* causal. Por esta razón la física usa tanto tales fórmulas de valores finales, pues el caso es matemáticamente claro y nadie atribuye «previsión» antropomórfica a la meta de un sistema físico. Los biólogos, por su parte, tenían con frecuencia tales fórmulas por un tanto inquietantes, ya fuera temiendo algún vitalismo oculto o considerando tal teleología o directividad hacia metas como «prueba» del vitalismo. Pues con respecto a la naturaleza animada, antes que a la inanimada, tendemos a comparar procesos finalistas con el discernimiento humano de la meta, cuando de hecho estamos manejando relaciones obvias y hasta matemáticamente triviales.

Hasta los filósofos han interpretado mal este asunto. De E. von Hartmann a autores modernos como Kafka (1922) y yo mismo, la finalidad fue definida como lo inverso de la causalidad, como dependencia del proceso con respecto al futuro y no a condiciones pasadas. A menudo se alzaban objeciones, pues, de acuerdo con esta concepción, un estado A dependería de un estado venidero B, algo existente de algo no existente (p. ej. Gross, 1930; algo parecido en Schlick). Como hemos visto, esta formulación no significa una inconcebible «acción» de un porvenir inexistente sino, ni más ni menos, una formulación, a veces útil, de un hecho que puede ser expresado en términos de causalidad.

Tipos de finalidad

No pretendemos discutir aquí en detalle el problema de la finalidad, pero no estará de más enumerar varios tipos. Pueden distinguirse, así:

(1) Teleología estática o adecuación, significando que una disposición parece útil para determinado «propósito». De este modo, un pelaje resulta conveniente para mantener caliente el cuerpo, y otro tanto ocurre con los pelos, las plumas o las capas de grasa en los animales. Las espinas pueden proteger las plantas contra la ingestión por herbívoros, o las coloraciones imitativas y mimetismos resultar ventajosos para proteger a animales contra sus enemigos.

(2) Teleología dinámica, significando una directividad de procesos. Es posible distinguir aquí diferentes fenómenos que son confundidos a menudo:

(i) Dirección de acontecimientos hacia un estado final que puede ser expresado como si el presente comportamiento dependiera del estado final. Todo sistema que alcanza una condición independiente del tiempo se conduce de esta manera.

(ii) Directividad basada en estructura, significando que una disposición estructural conduce el proceso de tal suerte que es logrado determinado resultado. Tal es, por supuesto, el caso del funcionamiento de máquinas hechas por el hombre y que dan productos o actúan tal como se esperaba. En la naturaleza viviente hallamos un orden estructural de procesos que en su complicación superan ampliamente a todas las máquinas hechas por el hombre. Semejante orden se desprende desde la función de órganos macroscópicos, así el ojo como una especie de cámara y el corazón como una bomba, hasta estructuras celulares microscópicas responsables del metabolismo, la secreción, la excitabilidad, la herencia y así sucesivamente. En tanto que las máquinas hechas por el hombre laboran de tal modo que dan determinados productos o actúan en cierta forma —fabricación de aeroplanos o movimiento de un ferrocarril—, el orden de los procesos en los sistemas vivos es tal que mantiene los *sistemas* mismos. Una parte importante de estos procesos lo representa la homeostasia (Cannon), es decir, los procesos merced a los cuales se mantiene constante la situación material y energética del organismo. Son ejemplos los mecanismos de termorregulación, de conservación de la presión osmótica del pH, de la concentración de sales, la regulación de la postura, etc. Estas regulaciones están gobernadas,

en gran medida, por mecanismos de retroalimentación. Retroalimentación significa que, de la salida de una máquina, cierta cantidad es devuelta atrás, como «información», a la entrada, de modo que regule ésta y así estabilice o dirija la acción de la máquina. Mecanismos de esta índole son bien conocidos en tecnología, p. ej., el regulador de la máquina de vapor, los proyectiles autodirigidos y otros «servomecanismos». Mecanismos de retroalimentación parecen ser responsables de gran parte de las regulaciones orgánicas y fenómenos de homeostasia, tal como lo viene subrayando recientemente la cibernética (Frank *et al.*, 1948; Wiener, 1948).

(*iii*) Hay, sin embargo, otra base más de las regulaciones orgánicas. Es la equifinalidad, a saber, el hecho de que pueda alcanzarse el mismo estado final partiendo de diferentes condiciones iniciales y por diferentes caminos. Tal resulta ser el caso en los sistemas abiertos, en la medida en que alcanzan un estado uniforme. Parece que la equifinalidad es responsable de la regulación primaria en los sistemas orgánicos, o sea de todas las regulaciones que no pueden basarse en estructuras o mecanismos predeterminados sino que, por el contrario, excluyen tales mecanismos y fueron así tenidas por argumentos en favor del vitalismo.

(*iv*) Por último está la genuina finalidad o intencionalidad, significando que el comportamiento actual está determinado por previsión de la meta. Tal es el concepto aristotélico original. Presupone que la meta futura está ya presente en el pensamiento y que dirige la acción presente. La verdadera intencionalidad es característica del comportamiento humano y está vinculada a la evolución del simbolismo del lenguaje y los conceptos (von Bertalanffy, 1948a, 1965).

La confusión de estos tipos diferentes de finalidad es uno de los factores responsables de la confusión imperante en epistemología y biología teórica. En el campo de las cosas hechas por el hombre, la adecuación (1) y el funcionamiento teleológico de máquinas (2, *ii*) se deben, por supuesto, a una inteligencia planeadora (2, *iv*). La adecuación en las estructuras orgánicas (1) es de suponerse que puede ser explicada por el juego causal de mutaciones al azar y selección natural. Sin embargo, esta explicación es mucho menos plausible para el origen de los complicadísimos mecanismos y siste-

mas de retroalimentación orgánicos (2, *ii*). El vitalismo es, en resumidas cuentas, el intento de explicar la directividad orgánica (2, *ii* y *iii*) por medio de inteligencia previsora de la meta (2, *iv*). Esto lleva metodológicamente más allá de los límites de la ciencia natural, y es empíricamente gratuito, ya que aun en los más pasmosos fenómenos de regulación o instinto no hay la menor justificación sino, al contrario, las razones más concretas en contra de suposiciones como la de que, p. ej., un embrión o un insecto están dotados de inteligencia sobrehumana. Una parte importante de los fenómenos que han sido adelantados como «pruebas del vitalismo», tales como la equifinalidad y la anamorfosis, son consecuencias del estado característico del organismo como sistema abierto, y son accesibles, pues, a la interpretación y la teoría científicas.

El isomorfismo en la ciencia

El presente estudio no aspira más que a señalar brevemente la intención general y varios conceptos de la teoría general de los sistemas. Otras tareas serían exponer la teoría en una forma lógico-matemáticamente estricta, o también el mayor desenvolvimiento de los principios válidos para cualquier tipo de sistema. Es un problema concreto. Por ej., la dinámica demográfica es homologable a la dinámica en mecánica (Volterra, cf. D'Ancona, 1939). Aparece un principio de mínima acción en varios campos, en mecánica, en fisicoquímica como el principio de Le Châtelier que —puede probarse— es también válido para sistemas abiertos, en electricidad como regla de Lenz, en teoría de la población siguiendo a Volterra, etc. Se presenta un principio de oscilaciones de relajamiento en los sistemas físicos tanto como en muchos fenómenos biológicos y ciertos modelos de dinámica de poblaciones. En varios campos de la ciencia es un desiderátum una teoría general de las periodicidades. Habrá que afanarse, pues, en pos de principios tales como los de mínima acción, las condiciones de soluciones estacionarias y periódicas (equilibrios y fluctuaciones rítmicas), la existencia de estados uniformes y problemas similares, en forma generalizada con respecto a la física y válida para los sistemas en general.

La teoría general de los sistemas, por tanto, no es un catálogo

de ecuaciones diferenciales bien conocidas, con sus soluciones, sino que plantea problemas nuevos y bien definidos, que en parte no aparecen en física pero tienen importancia básica en campos no físicos. Precisamente por no ocuparse de ellos la física ordinaria, estos problemas han tomado a menudo aire metafísico o vitalista.

La teoría general de los sistemas debe ser además un importante dispositivo regulador en la ciencia. La existencia de leyes de análoga estructura en diferentes campos permite el empleo de modelos más sencillos o mejor conocidos, para fenómenos más complicados y menos tratables. De manera que la teoría general de los sistemas tiene que ser, metodológicamente, un importante medio de controlar y estimular la transferencia de principios de uno a otro campo, y ya no habrá que repetir o triplicar el descubrimiento de los mismos principios en diferentes terrenos, aislados entre sí. Al mismo tiempo, formulando criterios exactos, la teoría general de los sistemas evitará analogías superficiales inútiles para la ciencia y perniciosas en las consecuencias prácticas.

Esto requiere definir hasta qué punto son permisibles y provechosas las «analogías» en la ciencia.

Vimos ya aparecer leyes similares de sistemas en varias ciencias. Lo mismo pasa con fenómenos cuyos principios generales son describibles en lenguaje ordinario aunque no sean formulables en términos matemáticos. Por ej., es difícil hallar procesos más disímiles, fenomenológicamente y en sus mecanismos intrínsecos, que la formación de un animal completo a partir de un germen dividido de erizo de mar o salamandra, el restablecimiento de la función normal en el sistema nervioso central después de quitar o lesionar algunas de sus partes, y la percepción de *Gestalt* en psicología. Con todo, los principios que gobiernan estos diferentes fenómenos exhiben sorprendentes similitudes. O bien, si investigamos la evolución de las lenguas germánicas observamos que, a partir de un lenguaje primitivo, se dieron mutaciones fonéticas paralelas en varias tribus, aunque muy separadas geográficamente: Islandia, las Islas Británicas, la Península Ibérica. Queda con ello excluida la influencia mutua; las lenguas se desarrollaron independientemente después de la separación de las tribus, pero aun así exhiben un paralelismo definido*. El biólogo halla un principio correspondiente en ciertas

* Agradezco al profesor Otto Höfler haberme señalado este fenómeno.

evoluciones. Hay, p. ej., un grupo de solípedos extintos, los titanoterios. Durante el Terciario pasaron de formas pequeñas a gigantes y al aumentar el cuerpo crecieron aún más los cuernos. Una indagación más detallada ha revelado que los titanoterios, procedentes de aquellas formas pequeñas iniciales, se escindieron en varios grupos que evolucionaron independientemente mas no por ello dejaron de adquirir características paralelas. He aquí una interesante semejanza, en el fenómeno de evoluciones paralelas a partir de orígenes comunes pero siguiendo cursos independientes: por un lado la evolución independiente de lenguajes tribales; por otro la evolución independiente de grupos dentro de una clase de mamíferos.

En casos sencillos es fácil dar con la razón del isomorfismo. Por ej., la ley exponencial afirma que, dado un complejo de cierto número de entidades, un porcentaje constante de estos elementos se desintegran o se multiplican por unidad de tiempo. De ahí que tal ley sea aplicable al dinero de una cuenta bancaria así como a los átomos de radio, a moléculas, a bacterias o a individuos de una población. La ley logística enuncia que el incremento, exponencial en un principio, está limitado por algunas condiciones restrictivas. Así en una reacción autocatalítica un compuesto cataliza su propia formación, pero como dentro de un recipiente cerrado es finito el número de moléculas, la reacción tendrá que detenerse cuando todas las moléculas se hayan transformado y alcanzar de esta suerte una situación límite. Una población aumenta exponencialmente con número creciente de individuos, pero si el espacio y el alimento están limitados, la cantidad de alimento disponible por cabeza disminuirá; de ahí que no pueda ser ilimitado el incremento numérico sino que acabe por alcanzar un estado uniforme definido como la máxima población compatible con los recursos disponibles. Las líneas férreas ya existentes en una comarca conducen a la intensificación del tráfico y de la industria, lo cual a su vez requiere una red más tupida, hasta que acaba por alcanzarse un estado de saturación; así, los ferrocarriles actúan como los autocatalizadores, acelerando su propio incremento, y su desarrollo sigue la curva autocatalítica. La ley parabólica es expresión de la competencia dentro de un sistema; cada elemento toma su parte de acuerdo con una capacidad expresada por una constante específica. Por tanto, la ley tiene igual forma, ya se aplique a la competencia entre individuos en un sistema económico, según la ley de Pareto,

o a órganos que compitan dentro de un organismo por material nutritivo y exhiban desarrollo alométrico.

Es claro que hay tres requisitos previos para la existencia de isomorfismos en diferentes campos y ciencias. Al parecer, los isomorfismos o leyes descansan en nuestra cognición por un lado y en la realidad por otro. Sin ir más lejos, es fácil escribir una ecuación diferencial complicada, pero hasta expresiones de aire inocente son a veces difíciles de resolver o tienen cuando menos soluciones engorrosas. El número de expresiones matemáticas sencillas que será preferible aplicar para describir fenómenos naturales es limitado. Por esta razón, leyes de idéntica estructura aparecen en campos intrínsecamente diferentes. Lo mismo vale para enunciados en lenguaje ordinario; aquí también el número de esquemas intelectuales es restringido, y serán aplicados a dominios sumamente diferentes.

No obstante, estas leyes y esquemas servirían de poco si el mundo (es decir, la totalidad de los acontecimientos observables) no fuera tal que le resultaran aplicables. Es concebible un mundo caótico o un mundo demasiado complicado para permitir aplicarle los esquemas relativamente sencillos que conseguimos construir con nuestro limitado intelecto. El que no sean así las cosas constituye el requisito previo de posibilidad de la ciencia. La estructura de la realidad es tal que permite la aplicación de nuestras construcciones conceptuales. Nos damos cuenta, sin embargo, de que todas las leyes científicas no representan más que abstracciones e idealizaciones que expresan ciertos aspectos de la realidad. Toda ciencia es una imagen esquematizada de la realidad, en el sentido de que determinada construcción conceptual está inequívocamente vinculada a ciertos rasgos de orden en la realidad; precisamente como los planos de un edificio no son el edificio, ni lo representan en modo alguno cabalmente, con la disposición de los ladrillos y las fuerzas que los retienen juntos, lo cual no es óbice para que exista una correspondencia inequívoca entre lo trazado en el papel y la auténtica construcción de piedra, metal y madera. No se plantea la cuestión de la «verdad» última, es decir, de hasta qué punto el plano de la realidad tal como lo traza la ciencia sea correcto o susceptible de mejoramiento; ni la cuestión de si será expresable en un solo plano —el sistema de la ciencia humana —la estructura de la realidad. Fs de suponerse que serían posibles o incluso necesarias diferentes representaciones, al igual que no tiene sentido preguntar si una proyección central o paralela, una sección horizon-

tal o vertical será más «correcta». Estas posibilidades se aprecian en los casos en que lo mismo físicamente «dado» es expresable en diferentes lenguajes —termodinámica y mecánica estadística, p. ej.—, o aun son precisas consideraciones complementarias, así los modelos corpuscular y ondulatorio de la microfísica. Aparte de estas cuestiones, la existencia de la ciencia prueba que es posible expresar ciertos rasgos de orden de la realidad mediante construcciones conceptuales. Un supuesto previo es la existencia de orden en la realidad misma; análogamente —para volver a la ilustración mencionada— a como estamos en condiciones de establecer el plano de una casa o de un cristal, mas no de las piedras volando en una explosión o de las moléculas moviéndose irregularmente en un líquido.

Hay, con todo, una razón más del isomorfismo de leyes en diferentes dominios, que tiene importancia para lo que decimos. En nuestras consideraciones partimos de una definición general de «sistema»: «cierto número de elementos en interacción», representado por el sistema de ecuaciones (3.1). No se hicieron hipótesis ni afirmaciones especiales acerca de la naturaleza del sistema, de sus elementos o de las relaciones existentes entre ellos. No obstante, de esta definición puramente formal de «sistema» se siguen muchas propiedades, en parte expresadas en leyes bien conocidas en varios campos de la ciencia y que en parte conciernen a conceptos previamente tenidos por antropomórficos, vitalistas o metafísicos. El paralelismo de concepciones generales y aun leyes especiales entre diferentes campos es, pues, consecuencia del hecho de que se ocupen de «sistemas» y de que ciertos principios generales se apliquen a sistemas, sin importar su naturaleza. De ahí que principios como los de totalidad y suma, mecanización, orden jerárquico, aproximación a estados uniformes, equifinalidad, etc., aparezcan en muy diferentes disciplinas. El isomorfismo hallado entre diferentes terrenos se funda en la existencia de principios generales de sistemas, de una «teoría general de los sistemas» más o menos bien desarrollada.

Las limitaciones de esta concepción, por otra parte, salen a relucir distinguiendo tres clases o niveles en la descripción de los fenómenos.

Primero están las *analogías*, o sea las similitudes superficiales entre fenómenos que no se corresponden ni en factores causales ni en las leyes pertinentes. De este género son los *simulacra vitae*,

otrora populares, así cuando se comparaba el crecimiento de un organismo con el de un cristal o el de una celda osmótica. Hay parecidos superficiales en uno u otro aspecto, pero puede afirmarse con seguridad que el crecimiento de una planta o de un animal no sigue la pauta del crecimiento de un cristal o de una estructura osmótica, y las leyes pertinentes difieren. Lo mismo pasa con la consideración de una biocenosis (p. ej. un bosque) como un «organismo», cuando existe evidente diferencia entre la unificación de un organismo individual y la vaguedad de una asociación vegetal; o con la comparación entre el desarrollo de una población y el nacimiento, crecimiento, envejecimiento y muerte de un organismo —comparación harto dudosa de ciclos vitales.

Otro nivel son las *homologías*. Están presentes cuando difieren los factores eficientes, pero las leyes respectivas son formalmente idénticas. Semejantes homologías tienen considerable importancia como modelos conceptuales en la ciencia. Se aplican con frecuencia en física. Son ejemplos la consideración del fluir del calor como el fluir de una sustancia, la comparación de la corriente eléctrica con la de un líquido y, en general, el traslado de la noción de gradiente, en un principio hidrodinámica, a potenciales eléctricos, químicos, etc. Sabemos a la perfección, sí, que no hay tal «sustancia calorífica», sino que el calor debe ser interpretado en el sentido de la teoría cinética; no obstante, el modelo permite estipular leyes que son formalmente correctas.

Es de homologías lógicas de lo que se ocupa la presente investigación. Esto es expresable así: si un objeto es un sistema, debe tener ciertas características de los sistemas, sin importar de qué sistema se trate. La homología lógica no sólo permite el isomorfismo en la ciencia sino que, como modelo conceptual, está en situación de dar instrucciones para la consideración correcta y la eventual explicación de fenómenos.

Finalmente, el tercer nivel es la *explicación*, es decir, el enunciado de condiciones y leyes específicas que son válidas para un objeto separado o para una clase de objetos. En lenguaje lógico-matemático esto quiere decir que las funciones generales f de nuestra ecuación (3.1) son sustituidas por funciones especificadas aplicables al caso en cuestión. Toda explicación científica requiere el conocimiento de estas leyes específicas, así como, p. ej., de las leyes del equilibrio químico, del crecimiento de un organismo, del incremento de una

población, etc. Es posible que también leyes específicas exhiban correspondencia formal u homologías en el sentido discutido, pero la estructura de las leyes puede, por supuesto, diferir según los casos.

Las analogías son científicamente inválidas. En cambio, las homologías a menudo proporcionan modelos valiosos; de ahí su amplia aplicación en física. De modo similar, la teoría general de los sistemas puede servir de dispositivo regulador para discernir analogías y homologías, parecidos sin sentido y traslados significativos de modelos. Esta función se aplica particularmente a ciencias que, como la demografía, la sociología y grandes áreas de la biología, no encajan en el marco de la física y la química; no obstante, hay leyes exactas que pueden enunciarse por aplicación de modelos adecuados.

La homología de características de sistemas no implica reducción de un dominio a otro inferior. Pero tampoco se trata de mera metáfora o analogía; es, antes bien, una correspondencia formal fundada en la realidad, en la medida en que puede considerarse constituida de «sistemas» de la índole que sea.

Hablando filosóficamente, la teoría general de los sistemas, en su forma desarrollada, reemplazaría lo que se conoce como «teoría de las categorías» (N. Hartmann, 1942) por un sistema exacto de leyes lógico-matemáticas. Nociones generales aun expresadas en la lengua común y corriente adquirirían la expresión exacta posible sólo en lenguaje matemático.

La unidad de la ciencia

Resumamos así los principales resultados de esta exposición:

a) El análisis de los principios generales de los sistemas muestra que muchos conceptos que a menudo han sido tenidos por antropomórficos, metafísicos o vitalistas son susceptibles de formulación exacta. Son consecuencias de la definición de sistemas o de determinadas condiciones de sistemas.

b) Semejante investigación es un útil requisito previo con respecto a problemas concretos de la ciencia. En particular, conduce a la elucidación de cuestiones que no son tenidas en cuenta en los esquematismos y cuadrículas de los campos especializados. O sea que la teoría de los sistemas debiera ser un recurso importante

en el proceso de desarrollo de nuevas ramas del conocimiento a la categoría de ciencias exactas, de sistemas de leyes matemáticas.

c) Esta investigación es igualmente importante para la filosofía de la ciencia, algunos de cuyos principales problemas adquieren aspectos nuevos y a menudo sorprendentes.

d) El hecho de que ciertos principios se apliquen a los sistemas en general, sin importar la naturaleza de los mismos ni las entidades de que se trate, explica que aparezcan en diferentes campos de la ciencia concepciones y leyes que se corresponden, provocando el notable paralelismo que hay en su desarrollo moderno. Así, conceptos como los de totalidad y suma, mecanización, centralización, orden jerárquico, estados estacionarios y uniformes, equifinalidad, etc., surgen en diferentes campos de la ciencia natural, al igual que en psicología y en sociología.

Estas consideraciones tienen trascendencia con respecto a la cuestión de la unidad de la ciencia. La opinión actual está bien representada por Carnap (1934). Como él dice, la unidad de la ciencia está garantizada por el hecho de que todos los enunciados de la ciencia puedan a fin de cuentas ser expresados en lenguaje físico —en forma de enunciados que vinculen valores cuantitativos a posiciones definidas en un sistema espaciotemporal de coordenadas. En este sentido, todos los *conceptos* que se dirían no físicos, p. ej. nociones específicamente biológicas como las de «especie», «organismo», «fertilización» y así sucesivamente, son definidos por medio de algunos criterios perceptibles: determinaciones cualitativas susceptibles de fisicalización. El lenguaje físico es, pues, el lenguaje universal de la ciencia. La cuestión de si las leyes biológicas serán reducibles a físicas —si las leyes naturales suficientes para explicar todos los fenómenos inorgánicos bastarán también para explicar los fenómenos biológicos— la deja abierta Carnap, aunque inclinándose por una respuesta afirmativa.

Desde nuestro punto de vista, la unidad de la ciencia adquiere un aspecto más concreto y, a la vez, más profundo. También dejamos abierta la cuestión de la «reducción última» de las leyes de la biología (y de los demás ámbitos no físicos) a la física, la cuestión de si se llegará a establecer un sistema hipotético-deductivo que abarque todas las ciencias, de la física a la biología y la sociología. Pero de fijo estamos en condiciones de establecer leyes científicas para los distintos niveles o estratos de la realidad. Y de ahí encontramos, hablando en «modo formal» (Carnap), una correspondencia

o isomorfismo de leyes y esquemas conceptuales en diferentes campos que sustenta la unidad de la ciencia. Hablando en lenguaje «material», esto quiere decir que el mundo (o sea el total de los fenómenos observables) exhibe una uniformidad estructural que se manifiesta por muestras isomorfas de orden en sus diferentes niveles o reinos.

La realidad, concebida de un modo nuevo, se presenta como un tremendo orden jerárquico de entidades organizadas que va, en superposición de numerosos niveles, de los sistemas físicos y químicos a los biológicos y sociológicos. La unidad de la ciencia no es asegurada por una utópica reducción de todas las ciencias a la física y la química, sino por las uniformidades estructurales entre los diferentes niveles de la realidad.

En especial, la brecha entre las ciencias naturales y las sociales, o, por usar las denominaciones alemanas, más expresivas, entre las *Natur* y las *Geisteswissenschaften*, se estrecha grandemente, no en el sentido de una reducción de estas últimas a concepciones biológicas, sino en el sentido de similitudes estructurales. Esta es la causa de la aparición de visiones y nociones generales correspondientes en ambos campos, y tal vez acabe conduciendo al establecimiento de un sistema de leyes en el segundo.

La visión mecanicista plasmó su ideal en el espíritu laplaciano, en la concepción de que todos los fenómenos son resumidamente agregados de acciones fortuitas de unidades físicas elementales. Teóricamente, esta concepción no condujo a ciencias exactas fuera del campo de la física, es decir, a leyes de los niveles máximos de la realidad, el biológico, el psicológico, el sociológico. En la práctica, sus consecuencias han sido fatales para nuestra civilización. La actitud que considera los fenómenos físicos como único patrón de realidad ha llevado a la mecanización del género humano y a la devaluación de valores superiores. El dominio sin tasa de la tecnología física finalmente llevó al mundo a las catastróficas crisis de nuestro tiempo. Luego de echar por tierra el punto de vista mecanicista, cuidamos de no deslizarnos al «biologismo», a considerar los fenómenos mentales, sociológicos y culturales desde un ángulo puramente biológico. Así como el fisicalismo consideraba el organismo viviente como una extraña combinación de aconteceres o máquinas de naturaleza fisicoquímica, el biologismo tiene al hombre por una curiosa especie zoológica y a la sociedad humana por una colmena o granja de cría de equinos. Teóricamente, el

biologismo no ha revelado sus méritos, y ha resultado fatal en materia de consecuencias prácticas. La concepción organísmica no significa el predominio unilateral de concepciones biológicas. Aunque haga hincapié en isomorfismos estructurales generales entre diferentes niveles, asevera al mismo tiempo su autonomía y posesión de leyes específicas.

Opinamos que la elaboración venidera de la teoría general de los sistemas demostrará ser un paso de consideración hacia la unificación de la ciencia. Quizás esté destinada, en la ciencia del futuro, a desempeñar un papel parecido al de la lógica aristotélica en la ciencia de la Antigüedad. La concepción griega del mundo era estática; se consideraba que las cosas reflejaban arquetipos eternos o ideas. De ahí que la clasificación fuese el problema central de la ciencia, cuyo *órganon* fundamental era la definición de la subordinación y la superordinación de conceptos. En la ciencia moderna la interacción dinámica parece ser el problema central en todos los campos de la realidad. La teoría de los sistemas definirá sus principios generales.

IV. Progresos en la teoría general de los sistemas

> En vista de que el pensamiento creador es lo más importante que distingue a la gente de los monos hay que tratarlo como un bien más precioso que el oro y que preservarlo con gran cuidado.
>
> A. D. Hall, *A Methodology for Systems Engineering*

Enfoques y metas de la ciencia de los sistemas

Cuando hace unos 40 años inicié mi vida científica, la biología estaba envuelta en la controversia entre mecanicismo y vitalismo. El procedimiento mecanicista consistía esencialmente en resolver el organismo vivo en partes y procesos parciales: el organismo era un agregado de células, la célula lo era de coloides y moléculas orgánicas, el comportamiento era una suma de reflejos condicionados y no condicionados, y así sucesivamente. Los problemas de organización de estas partes al servicio del mantenimiento del organismo, de la regulación consecutiva a perturbaciones, se evitaban; o bien, de acuerdo con la teoría llamada vitalista, se tenían por explicables sólo merced a la acción de factores animoides —duendecillos, dan ganas de decir— que acechaban en la célula o el organismo; lo cual evidentemente era, ni más ni menos, una declaración en quiebra de la ciencia. Ante aquella situación, yo y otros fuimos conducidos al punto de vista llamado organísmico. Significa, en pocas palabras, que los organismos son

cosas organizadas y que, como biólogos, tenemos que averiguar al respecto. Traté de dar forma a este programa organísmico en varios estudios sobre el metabolismo, el crecimiento y la biofísica del organismo. Un paso en tal dirección fue la llamada teoría de los sistemas abiertos y los estados uniformes, que es, resumidamente, una expansión de la fisicoquímica, la cinética y la termodinámica ordinarias. Me dio la impresión, no obstante, de que no podía detenerme en el camino que había elegido, y ello me condujo a generalización mayor aun, a lo que llamé «teoría general de los sistemas». La idea viene de muy atrás: la presenté por primera vez en 1937, en el seminario filosófico de Charles Morris en la Universidad de Chicago. Sin embargo, en aquel entonces era mal visto teorizar en biología, y temí lo que el matemático Gauss llamaba «el clamor de los beocios». De modo que guardé mis notas en un cajón y no fue sino hasta después de la guerra cuando aparecieron mis primeras publicaciones sobre el asunto.

Ocurrió entonces algo interesante y sorprendente. Resultó que se había producido un cambio en el clima intelectual y que estaban de moda la construcción de modelos y las generalizaciones abstractas. Más aun: un buen puñado de científicos habían seguido líneas de pensamiento parecidas. O sea que, al fin y al cabo, la teoría general de los sistemas no estaba tan aislada, ni era una idiosincrasia personal en el grado que yo había creído, sino que correspondía a una tendencia del pensamiento moderno.

Hay una porción de progresos novedosos destinados a enfrentarse a las necesidades de una teoría general de los sistemas. Los enumeraremos brevemente:

(1) La cibernética, basada en el principio de retroalimentación o de líneas causales circulares, que proporciona mecanismos para la persecución de metas y el comportamiento autocontrolado.

(2) La teoría de la información, que introdujo el concepto de información como magnitud medible mediante una expresión isomorfa de la entropía negativa en física, y desarrolla los principios de su trasmisión.

(3) La teoría de los juegos, que analiza, con un novedoso armazón matemático, la competencia racional entre dos o más antagonistas en pos de ganancia máxima y pérdida mínima.

(4) La teoría de la decisión, que analiza parecidamente elecciones racionales, dentro de organizaciones humanas, basadas en el examen de una situación dada y de sus posibles consecuencias.

(5) La topología o matemáticas relacionales, incluyendo campos no métricos tales como las teorías de las redes y de las gráficas.

(6) El análisis factorial, o sea el aislamiento, por análisis matemático, de factores en fenómenos multivariables, en psicología y otros campos.

(7) La teoría general de los sistemas en el sentido más estricto (G.S.T. en inglés), que procura derivar, partiendo de una definición general de «sistema» como complejo de componentes interactuantes, conceptos característicos de totalidades organizadas, tales como interacción, suma, mecanización, centralización, competencia, finalidad, etc., y aplicarlos entonces a fenómenos concretos.

Si bien la teoría de los sistemas en sentido amplio tiene carácter de ciencia básica, existe un correlato en ciencia aplicada, lo que a veces se llama ciencia de los sistemas, a secas. Este dominio está vinculado de cerca a la moderna automación. A grandes rasgos se distinguen los campos siguientes (Ackoff, 1960; A. D. Hall, 1962):

Ingeniería de sistemas, es decir, la concepción, el planeamiento, la evaluación y la construcción científicos de sistemas hombre-máquina.

Investigación de operaciones, el control científico de sistemas existentes de hombres, máquinas, materiales, dinero, etc.

Ingeniería humana, que es la adaptación científica de sistemas, y especialmente máquinas, con objeto de obtener máxima eficiencia con mínimo costo en dinero y otros gastos.

Un ejemplo muy sencillo de la necesidad de estudio de los «sistemas hombre-máquina» es el viaje aéreo. Quienquiera cruce continentes en *jet* a velocidad increíble teniendo, sin embargo, que pasar incontables horas esperando, haciendo cola, amontonado en los aeropuertos, se dará clara cuenta de que las técnicas físicas del viaje aéreo son de lo mejor, en tanto que las técnicas de «organización» siguen en un nivel primitivísimo.

Con todo y que hay gran traslapamiento, en los diversos campos predominan diferentes concepciones. En la ingeniería de sistemas se emplean la cibernética y la teoría de la información, así como la teoría general de los sistemas en el sentido más estricto. La investigación de operaciones usa instrumentos como la programación lineal y la teoría de los juegos. La ingeniería humana, que se ocupa de las capacidades, limitaciones fisiológicas y variabilidad

de los seres humanos, incluye biomecánica, ingeniería psicológica, factores humanos, etc., en su arsenal.

Este repaso no se ocupa de la ciencia aplicada de los sistemas; remitimos al lector al libro de Hall, excelente texto de ingeniería de sistemas (1962). Conviene, sin embargo, tener presente que el enfoque de sistemas, como concepto novedoso en ciencia, tiene un paralelo cercano en la tecnología.

Los motivos conducentes a la postulación de una teoría general de los sistemas pueden resumirse bajo unos pocos encabezados.

(1) Hasta hace poco, el campo de la ciencia como empresa nomotética —es decir, que trata de establecer un sistema de leyes explicativo y predictivo— coincidía prácticamente con la física teórica. En consecuencia, la realidad física pareció la única otorgada por la ciencia. La consecuencia fue el postulado del reduccionismo, el principio de que la biología, el comportamiento y las ciencias sociales habrían de manipularse de acuerdo con el parangón de la física, y al fin reducirse a conceptos y entidades de nivel físico. En virtud de adelantos en la física misma, las tesis fisicalista y reduccionista se tornaron problemáticas y hasta se manifestaron como prejuicios metafísicos. Las entidades de que trata la física —átomos, partículas elementales, etc.— han resultado ser mucho más ambiguas de lo que se supuso: no son metafísicas piedras de construcción del universo sino modelos conceptuales harto complicados, inventados para dar razón de determinados fenómenos de la observación. Por otro lado, las ciencias biológicas, del comportamiento y sociales han salido adelante. A fuerza de tener que ver con estos campos, y de las exigencias de una nueva tecnología, se impuso una *generalización de los conceptos científicos* y de los correspondientes modelos, lo cual llevó al surgimiento de nuevos campos más allá del sistema tradicional de la física.

(2) En los campos biológico, del comportamiento y sociológico, hay problemas esenciales que la ciencia clásica descuidó, o, mejor dicho, que no entraban en sus consideraciones. Si examinamos un organismo vivo, apreciamos un orden pasmoso, organización, mantenimiento en cambio continuo, regulación y aparente teleología. Asimismo, en la conducta humana es imposible prescindir de la persecución de metas y de la intencionalidad, aunque se adopte una posición estrictamente conductista. Ahora bien, conceptos como los de organización, directividad, teleología, etc., sencillamente no tienen cabida en el sistema clásico de la ciencia. De hecho, en

la visión del mundo llamada mecanicista, basada en la física clásica, eran tenidos por ilusorios o metafísicos. Para el biólogo, p. ej., esto significa que precisamente los problemas específicos de la naturaleza viviente parecían caer más allá del alcance legítimo de la ciencia. La aparición de modelos —conceptuales y a veces hasta materiales— que representen semejantes aspectos de interacción multivariable, organización, automantenimiento, directividad, etc., implica la *introducción de nuevas categorías* en el pensamiento y la investigación científicos.

(3) La ciencia clásica se ocupaba ante todo de problemas de dos variables, de cursos causales lineales, de una causa y un efecto, o de unas pocas variables cuando mucho. La mecánica es el ejemplo clásico. Da soluciones perfectas para la atracción entre dos cuerpos celestes, un sol y un planeta, y así permite la predicción exacta de futuras configuraciones y hasta de la existencia de planetas aún no vistos. Pero ya el problema de los tres cuerpos en mecánica es insoluble en principio y sólo puede ser abordado mediante aproximaciones. Existe una situación similar en el campo más moderno de la física atómica (Zacharias, 1957). También aquí son solubles problemas de dos cuerpos, como el de un protón y un electrón, pero cuando los cuerpos se multiplican surgen las dificultades. Numerosos problemas, particularmente en biología y ciencias sociales y del comportamiento, son al fin y al cabo problemas multivariables que requieren nuevos instrumentos conceptuales. Warren Weaver (1948) uno de los fundadores de la teoría de la información, ha señalado esto en palabras muy citadas. La ciencia clásica, afirma, se ocupaba de vías causales lineales, o sea de problemas de dos variables, o de complejidades no organizadas. Estas últimas son tratables mediante métodos estadísticos y se empalman a fin de cuentas con el segundo principio de la termodinámica. Sin embargo, en la física y la biología modernas salen sin cesar al paso *problemas tocantes a la complejidad organizada*, interacciones entre muchas —pero no infinitas— variables, que requieren nuevas herramientas conceptuales.

(4) Lo que se ha dicho no tiene pretensiones metafísicas o filosóficas. No estamos alzando una barrera entre la naturaleza inorgánica y la viviente, que evidentemente no vendría al caso en vista de la existencia de formas intermedias como los virus, las nucleoproteínas y demás unidades que se autoduplican. Tampoco insistimos en que la biología sea en principio «irreducible a la física», lo

cual también andaría descaminado en vista de los tremendos adelantos en la explicación física y química de los procesos vitales. Análogamente, no se supone ninguna barrera entre la biología y las ciencias del comportamiento y de la sociedad. Lo cual, eso sí, no mitiga el hecho de que en los campos citados no haya instrumentos conceptuales adecuados que sirvan para explicar y predecir, tal como sucede en la física y en los múltiples campos de aplicación.

(5) Se diría, pues, que hace falta una expansión de la ciencia para vérselas con esos aspectos que deja fuera la física y que son los que tocan a las características específicas de los fenómenos biológicos, del comportamiento y sociales. Esto equivale a la introducción de *nuevos modelos conceptuales.*

(6) Estas construcciones teóricas ampliadas y generalizadas, estos modelos, son *interdisciplinarios:* trascienden los compartimientos ordinarios de la ciencia, y son aplicables a fenómenos en diferentes campos. Esto conduce al isomorfismo entre modelos, principios generales y aun leyes especiales que aparecen en varios campos.

Resumiendo: la inclusión de las ciencias biológicas, del comportamiento y sociales en la tecnología moderna exige la generalización de conceptos científicos básicos, lo cual implica nuevas categorías de pensamiento científico, en comparación con las de la física tradicional, y los modelos implantados con tal propósito tienen naturaleza interdisciplinaria.

Una importante consideración es que los diversos enfoques enumerados no son monopolistas ni deben ser considerados como tales. Uno de los aspectos importantes de los cambios modernos en el pensamiento científico es la inexistencia de un «sistema universal» único y que lo abarque todo. Cada construcción científica es un modelo que representa determinados aspectos o panoramas de la realidad. Esto incluso vale para la física teórica: lejos de ser una presentación metafísica de la realidad última (como proclamaba el materialismo del pasado y sigue implicando el moderno positivismo), no es sino uno de estos modelos que, según revelan progresos recientes, no es ni exhaustivo ni único. Las varias «teorías de los sistemas» son también modelos que reflejan diferentes aspectos. No se excluyen mutuamente y a menudo se aplican combinadas. Por ej., ciertos fenómenos pueden tornarse susceptibles de exploración científica gracias a la cibernética, otros recurriendo a la teoría general de los sistemas en el sentido más estrecho; acaso en el mismo fenómeno haya aspectos describibles de esta y de otra manera.

Esto, por supuesto, *no* cierra el paso —sino que más bien la fomenta— a la esperanza de mayor síntesis, que integre y unifique los varios enfoques presentes hacia una teoría de la «totalidad» y la «organización». En verdad, tales síntesis más altas —así entre la termodinámica irreversible y la teoría de la información— van siendo elaboradas poco a poco.

Los métodos en la investigación general de los sistemas

Ashby (1958a) ha esbozado admirablemente dos caminos o métodos generales posibles en el estudio de los sistemas:

> Es fácil distinguir dos líneas principales. Una, ya bien desarrollada en manos de von Bertalanffy y sus colaboradores, toma el mundo tal como lo hallamos, examina los varios sistemas que en él se dan —zoológicos, fisiológicos, etc.— y ofrece entonces enunciados acerca de las regularidades que se han hallado válidas. Este método es esencialmente empírico. El segundo método consiste en empezar por la otra punta. En lugar de estudiar primero un sistema, luego otro, después otro más, hay que cambiar de extremo, que considerar el conjunto de todos los sistemas concebibles y entonces reducir el conjunto a dimensiones más razonables. Tal es el método que he seguido recientemente.

Se verá en seguida que todos los estudios sobre sistemas siguen uno u otro de estos métodos, o los combinan. Cada enfoque tiene sus ventajas y sus limitaciones:

(1) El primer método es empírico-intuitivo; tiene la ventaja de mantenerse muy cerca de la realidad y de ser fácil de ilustrar y hasta de verificar mediante ejemplos tomados de los distintos campos de la ciencia. Por otra parte, este enfoque carece de elegancia matemática y de vigor deductivo, y así parecerá ingenuo y *no* sistemático a las mentes matemáticas.

Con todo, no hay que menoscabar los méritos de este procedimiento empírico-intuitivo.

El presente autor ha enunciado cierto número de «principios de sistemas», parcialmente en el contexto de la teoría biológica, y *sin* referencia explícita a la «T.G.S.» (von Bertalanffy, 1960a, pp. 37-54), parcialmente en lo que fue designado enfáticamente como «esbozo» de esta teoría (capítulo *III*). Hay que tomar esto en sentido literal: se trataba de atraer la atención hacia lo deseable

que era semejante campo, y la presentación fue una especie de bosquejo o plano, que ilustraba el enfoque mediante ejemplos sencillos.

Pero se dio el caso de que aquel repaso intuitivo era notablemente completo. Los principios básicos ofrecidos, como los de totalidad, suma, centralización, diferenciación, parte conductora, sistemas cerrados y abiertos, finalidad, equifinalidad, crecimiento en el tiempo, crecimiento relativo, competencia, han sido usados de múltiples maneras (p. ej. en la definición general de sistema: Hall y Fagen, 1956; tipos de crecimiento: Keiter, 1951-52; ingeniería de sistemas: A. D. Hall, 1962; estudios sociales: Hearn, 1958). Salvando variaciones secundarias de terminología, en pos de mayor claridad o impuestas por el tema, no han sido agregados principios de significación comparable —por deseable que esto hubiese sido. Acaso sea aun más significativo que pase otro tanto con consideraciones que no atañen a la obra de quien esto escribe y que, así, no pueden tomarse por indebidamente influidas por éste. El examen atento de estudios como los de Beer (1960) y Kremyanskiy (1960) acerca de principios, de Bradley y Calvin (1956) sobre redes de reacciones químicas, de Haire (1959) acerca del crecimiento de organizaciones, etc., persuadirá de que aplican asimismo «principios de Bertalanffy».

(2) Ashby siguió el camino de la teoría deductiva de los sistemas (1958b). Una exposición más informal que resume el razonamiento de Ashby (1962) se presta particularmente bien al análisis.

Ashby pregunta por el «concepto fundamental de máquina» y responde afirmando que «su estado interno y el estado de sus alrededores define inequívocamente el siguiente estado al que pasará». Si las variables son continuas, esta definición corresponde a la descripción de un sistema dinámico mediante un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias con el tiempo como variable independiente. Sin embargo, tal representación mediante ecuaciones diferenciales es demasiado restringida para una teoría que ha de incluir sistemas biológicos y máquinas calculadoras, donde las discontinuidades están a la orden del día. De modo que la definición moderna es la «máquina con entrada»: es definida por un conjunto S de estados internos, un conjunto I de entradas y un mapa f del conjunto producto $I \times S$ sobre S. La «organización», pues, es definida especificando los estados S de la máquina y sus condiciones I. Si S es un conjunto de productos $S = \Pi_i T_i$, con i como partes y T especificado por el mapa f, de acuerdo con Ashby

un sistema «autoorganizador» puede tener dos sentidos, a saber: (*1*) El sistema comienza con las partes separadas, y éstas cambian luego hacia la formación de conexiones (ejemplo: células del embrión, primero con escaso o ningún efecto una sobre otra, se unen por formación de dendritas y sinapsis hasta constituir el sistema nervioso, de tanta interdependencia). Este primer sentido es el «tránsito de lo no organizado a lo organizado». (*2*) El segundo sentido es «tránsito de una mala organización a una buena» (ejemplos: un niño, cuya organización cerebral empieza por hacerlo tratar de tocar el fuego, en tanto que una organización nueva lo hace evitarlo; un piloto automático y un avión acoplados primero por retroalimentación positiva catastrófica y luego mejorados). «Ahí la organización es mala. El sistema sería 'autoorganizador' si se hiciera automáticamente un cambio» (cambio de retroalimentación positiva a negativa). Más «*ninguna máquina puede ser autoorganizadora en este sentido*» (subrayado del autor). Pues adaptación (p. ej. la del homeóstato, o de una computadora que se autoprograme) significa que partimos de un conjunto *S* de estados, y que *f* cambia a *g*, de modo que la organización es una variable, p. ej. una función del tiempo *a(t)* que empieza por tener el valor *f* y luego el *g*. Sin embargo, este cambio «no puede ser adscrito a ninguna causa del conjunto *S*, *o sea que tiene que proceder de algún agente externo que actúe sobre el sistema S como entrada*» (nosotros subrayamos). En otras palabras, para ser «autoorganizadora» la máquina *S* debe estar acoplada a otra máquina.

Enunciado conciso que permite apreciar las limitaciones de este enfoque. Convenimos enteramente en que la descripción por ecuaciones diferenciales es no sólo un modo engorroso sino aun en principio inadecuado de enfrentarse a muchos problemas de organización. El autor se daba clara cuenta de ello, al subrayar que un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas no es en modo alguno la formulación más general y que se escoge únicamente con propósitos de ilustración (capítulo III).

Sin embargo, al superar esta limitación Ashby introdujo otra. Su «definición moderna» de sistema como «máquina con entrada» y que reprodujimos antes, suplanta el modelo general de sistema por otro, y bastante especial: el cibernético, un sistema abierto a la información pero cerrado con respecto a la trasferencia de entropía. Esto se hace palpable cuando la definición es aplicada a «sistemas autoorganizadores». En forma característica, la clase

más importante de éstos no tiene cabida en el modelo de Ashby: los sistemas que se organizan a sí mismos por diferenciación progresiva, evolucionando desde estados de baja complejidad hasta estados de alta. Por supuesto, ésta es la forma más evidente de «autoorganización», ostensible en la ontogenia, probable en la filogenia y de seguro válida también en muchas organizaciones sociales. No es aquí cosa de «buena» (útil, adaptativa) o «mala» organización, que, como subraya atinadamente Ashby, depende de las circunstancias; el aumento de diferenciación y complejidad —útil o no— es un criterio objetivo y al menos en principio susceptible de medición (p. ej. en términos de entropía decreciente, de información). La pretensión de Ashby de que «ninguna máquina puede ser autoorganizadora», más explícitamente, que el cambio «no puede ser adscrito a ninguna causa del conjunto *S*» sino que «una entrada tiene que proceder de algún agente externo», equivale a la exclusión de los sistemas autodiferenciantes. La razón de que semejantes sistemas no sean aceptables como «máquinas de Ashby» es patente. Los sistemas autodiferenciantes que evolucionan hacia creciente complejidad (entropía decreciente) son, por razones termodinámicas, sólo posibles como sistemas abiertos, como sistemas que importen materia portadora de energía libre en grado que sobrecompense el aumento de entropía debido a procesos irreversibles dentro del sistema («importación de entropía negativa», según la expresión de Schrödinger). Sin embargo, no podemos decir que este cambio «tiene que proceder de algún agente externo, una entrada»; la diferenciación en un embrión en desarrollo y en un organismo se debe a sus leyes internas de organización, y la entrada (p. ej. el suministro de oxígeno, cuantitativamente variable, o la nutrición, que puede variar cualitativamente dentro de una amplia gama) apenas la posibilita energéticamente.

Lo anterior es también ilustrado por ejemplos adicionales ofrecidos por Ashby. Imagínese que una computadora digital esté realizando multiplicaciones al azar; la máquina «evolucionará» hacia númepar pares (ya que par por par y par por impar dan números pares) y a fin de cuentas sólo «sobrevivirán» ceros. En otra versión, Ashby cita el décimo teorema de Shannon, que afirma que si un canal de corrección tiene capacidad *H*, puede eliminarse equívoco de magnitud *H*, pero no más. Ambos ejemplos ilustran el funcionamiento de sistemas cerrados. La «evolución» de la computadora es hacia la desaparición de diferenciación y el establecimiento de homogeneidad

máxima (análoga al segundo principio en sistemas cerrados); análogamente, el teorema de Shannon concierne a sistemas cerrados, a los que no se administra entropía negativa. En comparación con el contenido en información (organización) de un sistema viviente, la materia importada (nutrición, etc.) no porta información sino «ruido». No obstante, su entropía negativa es usada para mantener o hasta aumentar el contenido en información del sistema. Es ésta una situación al parecer no tenida en cuenta por el décimo teorema de Shannon, y es comprensible, ya que Shannon no trata de la transferencia de información en sistemas abiertos con transformación de materia.

En ambos aspectos el organismo vivo (y otros sistemas de conducta o sociales) no es una máquina de Ashby, ya que evoluciona hacia diferenciación e inhomogeneidad crecientes y puede reducir el «ruido» en mayor grado que un canal de comunicación inanimado. En ambos casos se trata de consecuencias del carácter de sistema abierto del organismo.

Dicho sea de paso, es por razones similares por lo que no podemos reemplazar el concepto de «sistema» por el concepto generalizado de «máquina» de Ashby. Aunque sea más holgado que el clásico (máquinas definidas como sistemas con disposición fija de partes y procesos), siguen en pie las objeciones contra una «teoría de máquina» de la vida (von Bertalanffy, 1960, pp. 16-20, y otras partes).

Estas observaciones no pretenden ser una crítica adversa de Ashby en el enfoque deductivo en general; sólo ponen de relieve que no existe un camino de Santiago a la teoría general de los sistemas. Como en cualquier otro campo científico, tendrá que desarrollarse por interacción de procedimientos empíricos, intuitivos y deductivos. Si el enfoque intuitivo deja tanto que desear en rigor y compleción lógicos, el deductivo choca con la dificultad de si estarán correctamente elegidos los términos fundamentales. No se trata de un fallo particular de la teoría ni de quienes la trabajan, sino de un fenómeno bien común en la historia de la ciencia; recuérdese, p. ej., el largo debate acerca de cuál magnitud —fuerza o energía— debe considerarse constante en las transformaciones físicas, hasta que se resolvió el punto en favor de $mv^2/2$.

Para quien este escribe, la «T.G.S.» fue concebida como hipótesis de trabajo; como científico que ejerce, ve la función esencial de los modelos teóricos en la explicación, la predicción y el control

de fenómenos hasta ahora inexplorados. Otros, con igual derecho, querrán recalcar la importancia de la actitud axiomática y citarán al efecto ejemplos como la teoría de la probabilidad, las geometrías no euclidianas o —más recientemente— las teorías de la información y de los juegos, desarrolladas primero como campos matemáticos deductivos y luego aplicadas a la física u otras ciencias. No hay por qué disputar en torno a este punto. En ambos casos el peligro está en considerar prematuramente que el modelo teórico es cerrado y definitivo —riesgo particularmente importante en un terreno como el de los sistemas generales, que aún busca a tanteos sus fundamentos correctos.

Adelantos en la teoría general de los sistemas

La cuestión decisiva es la del valor explicativo y predictivo de las «nuevas teorías» que atacan el cúmulo de problemas en torno a la totalidad, la teleología, etc. Por supuesto, el cambio de clima intelectual que lo deja a uno ver nuevos problemas, pasados por alto antes, o ver problemas bajo otra luz, vale en un sentido más por sí mismo que ninguna aplicación distinta y especial. La «revolución copernicana» fue más que la posibilidad de calcular algo mejor el movimiento de los planetas; la relatividad general algo más que la explicación de contadísimos fenómenos físicos recalcitrantes; el darwinismo algo más que una respuesta hipotética a problemas zoológicos: lo que contó fueron los cambios en el marco general de referencia (cf. Rapoport, 1959a). Con todo, la justificación de semejante cambio reside a fin de cuentas en logros específicos que no se hubieran obtenido sin la teoría nueva.

No hay duda de que se han abierto nuevos horizontes, pero a menudo las relaciones con los hechos empíricos siguen siendo tenues. Así, la teoría de la información ha sido saludada como un «adelanto importante», pero fuera del campo tecnológico original sus contribuciones no han pasado de ser escasas. En psicología se limitan hasta ahora a aplicaciones bastante triviales, como en el aprendizaje por repetición, etc. (Rapoport, 1956; Attneave, 1959). Cuando en biología se habla de la «información codificada» en el DNA, y del «desciframiento del código» (o «clave») al ser dilucidada la estructura de los ácidos nucleicos, lo de información es una *façon de parler* antes que la aplicación de la teoría de la información en el sentido técnico desarrollado por Shannon y Weaver (1949).

«La teoría de la información, aunque útil para el proyecto de computadoras y el análisis de redes, hasta ahora no ha hallado lugar significativo en biología» (Bell, 1962). También la teoría de los juegos es un novedoso adelanto matemático que se juzgó de alcance comparable al de la mecánica newtoniana y al de la introducción del cálculo infinitesimal; una vez más, «las aplicaciones son magras y endebles» (Rapoport, 1959a; llamamos urgentemente la atención del lector hacia las discusiones de Rapoport acerca de las teorías de la información y de los juegos, que analizan admirablemente los problemas aquí mencionados). Lo mismo se advierte en la teoría de la decisión, de la cual se esperaba gran provecho para la ciencia aplicada de los sistemas; pero por lo que respecta a los juegos militares y de negocios, de los que tanto se habló, «no ha habido evaluación controlada de sus logros en el adiestramiento, la selección de personal y la demostración» (Ackoff, 1959).

No hay que dejar sin mencionar un peligro de adelantos recientes. La ciencia del pasado (y en parte la actual) estaba dominada por un empirismo unilateral. Sólo se consideraba «científico» en biología (y psicología) el acopio de datos y experimentos; la «teoría» era equiparada a «especulación» o «filosofía», olvidando que el mero acopio de datos, por incesante que sea, no constituye una «ciencia». La consecuencia fue la falta de reconocimiento y apoyo para mejorar el armazón necesariamente teórico, e influencias desfavorables sobre la investigación experimental misma (que se hizo en buena parte cosa de azar, de dar o no en el blanco) (cf. Weiss, 1962a). Se han vuelto las tornas en algunos campos, durante los años recientes. El entusiasmo por los nuevos instrumentos matemáticos y lógicos disponibles ha llevado a una febril «construcción de modelos», como si se tratara de un fin en sí, muchas veces sin hacer caso de los hechos empíricos. Mas la experimentación conceptual al azar no tiene mayores probabilidades de éxito que la experimentación al azar en el laboratorio. En palabras de Ackoff (1959), hay una fundamental propensión errada, en teoría de los juegos (y en otras), a tomar por un «problema» lo que en realidad no es más que un «ejercicio» matemático. No estaría mal recordar la vieja máxima kantiana de que la experiencia sin teoría es ciega, pero la teoría sin experiencia es un juego intelectual, ni más ni menos.

Cambia algo el caso con la cibernética. El modelo que aplica no es nuevo; si bien el enorme progreso del campo data de la

implantación de este nombre (Wiener, 1948), la aplicación del principio de retroalimentación a procesos *fisiológicos se remonta* a los trabajos de R. Wagner, hace sus buenos 40 años (cf. Kment, 1959). El modelo de retroalimentación y homeostasia se ha aplicado desde entonces a innumerables fenómenos biológicos y —algo menos persuasivamente— en psicología y las ciencias sociales. De acuerdo con Rapoport (1956), la razón del último hecho sería que

> de ordinario hay una correlación bien marcada entre el alcance y el acierto de los escritos... La labor atinada se confina a la ingeniería o a aplicaciones más bien triviales; las formulaciones ambiciosas no salen de la vaguedad.

Ni que decir tiene, éste es un riesgo perenne de todos los enfoques de la teoría general de los sistemas; es claro que se abre un nuevo dominio al pensamiento, pero es difícil navegar entre la Escila de lo trivial y el Caribdis de confundir los neologismos con explicaciones.

El siguiente repaso se limita a la teoría general de los sistemas «clásica» —no en el sentido de que pretenda tener ninguna prioridad o excelencia, sino en el de que sus modelos no salen de las lindes de las matemáticas «clásicas», contrastadas con las «nuevas» de las teorías de los juegos, las redes, la información, etc. No quiere esto decir que la teoría sea mera aplicación de las matemáticas ordinarias. Por el contrario, el concepto de *sistema plantea* problemas que en parte están aún lejos de haber sido resueltos. En otro tiempo, problemas de sistemas condujeron a importantes adelantos matemáticos, como la teoría de Volterra de las ecuaciones íntegro-diferenciales, de sistemas con «memoria» cuyo comportamiento depende no sólo de las condiciones actuales sino de la historia previa. Hoy por hoy, importantes problemas esperan adelantos, p. ej. una *teoría general* de las ecuaciones diferenciales no lineales, de los estados uniformes y los fenómenos rítmicos, un principio generalizado de mínima acción, la definición termodinámica de los estados uniformes, etc.

Por supuesto, no viene al caso el que la indagación haya o no llevado el rótulo de «teoría general de los sistemas». No pretendemos hacer una reseña completa, ni menos exhaustiva. La intención de este repaso estará cumplida si sirve como una especie de guía de las investigaciones hechas en el campo y de las áreas que parecen prometedoras para trabajos venideros.

SISTEMAS ABIERTOS. La teoría de los sistemas abiertos es una importante generalización de la teoría física, la cinética y la termodinámica. Ha conducido a nuevos principios y discernimientos, tales como el principio de equifinalidad, la generalización del segundo principio de la termodinámica, el posible incremento de orden en sistemas abiertos, la manifestación de fenómenos periódicos por exceso o falso inicio, etc.

Las extensas labores en biología y campos afines se examinan en parte en los capítulos V-VII. (Para mayor discusión, cf. también Gray y White, 1957; Jung, 1956; Morchio, 1956; Netter, 1953, 1959.)

Más allá del organismo como individuo, también se emplean principios de sistemas de la dinámica de poblaciones y en teoría ecológica (revisión: J. R. Bray, 1958). La ecología dinámica, es decir, la sucesión y la culminación de poblaciones vegetales, es un campo muy cultivado que, sin embargo, tiende a resbalar hacia el verbalismo y el debate terminológico. El enfoque de sistemas parece ofrecer un nuevo punto de vista. Whittacker (1953) ha descrito la sucesión de comunidades vegetales hacia la formación de una culminación o clímax, en términos de sistemas abiertos y equifinalidad. De acuerdo con este autor, el hecho de que se generen formaciones culminantes iguales a partir de vegetaciones iniciales diferentes constituye un ejemplo notorio de equifinalidad, donde, por añadidura, el grado de independencia de las condiciones iniciales y de curso de desarrollo es superior al que se da en un organismo único. Patten (1959) ha expuesto un análisis cuantitativo sobre la base de sistemas abiertos, en términos de la producción de biomasa, con culminación como estado uniforme.

El concepto de sistema abierto también ha hallado aplicación en las ciencias de la Tierra, en geomorfología (Chorley, 1964), y en meteorología (Thompson, 1961), merced a una comparación detallada entre conceptos meteorológicos modernos y el concepto organísmico de von Bertalanffy en biología. Cabe recordar que ya Prigogine, en su clásica obra (1947), mencionó la meteorología como un posible campo de aplicación de los sistemas abiertos.

CRECIMIENTO EN EL TIEMPO. Las formas más sencillas de crecimiento, las cuales, por esta razón, se prestan mejor a exhibir el isomorfismo entre leyes en diferentes campos, son la exponencial y la logística. Entre otros muchos, son ejemplos el incremento del conocimiento

del número de especies animales (Gessner, 1952), las publicaciones sobre la drosofila (Hersch, 1942), y las compañías manufactureras (Haire, 1959). Boulding (1956a) y Keiter (1951-52) han hecho hincapié en una teoría general del crecimiento.

La teoría del crecimiento animal según von Bertalanffy (y otros) —la cual, por usar parámetros fisiológicos totales («anabolismo», «catabolismo»), puede subsumirse bajo el encabezado de la «G.S.T.» no menos que bajo el de la biofísica— ha sido revisada en cuanto a sus varias aplicaciones (von Bertalanffy, 1960b).

CRECIMIENTO RELATIVO. Otro principio de gran sencillez y generalidad atañe al crecimiento relativo de los componentes de un sistema. La relación simple del incremento alométrico se aplica a muchos fenómenos de crecimiento en biología (morfología, bioquímica, fisiología, evolución).

Una relación análoga se da en los fenómenos sociales. La diferenciación social y la división del trabajo en las sociedades primitivas, así como el proceso de urbanización (o sea el crecimiento de las ciudades en comparación con la población rural), sigue la ecuación alométrica. La aplicación de esta última ofrece una medida cuantitativa de la organización y el desarrollo sociales, susceptible de reemplazar los habituales juicios intuitivos (Naroll y Bertalanffy, 1956). Se diría que el mismo principio es aplicable a la multiplicación del equipo regente en comparación con la del número de empleados en las compañías manufactureras (Haire, 1959).

COMPETENCIA Y FENÓMENOS AFINES. Los trabajos sobre la dinámica de poblaciones de Volterra, Lotka, Gause y otros figuran entre los clásicos de la «T.G.S.», pues fueron los primeros en mostrar la posibilidad de desarrollar modelos conceptuales para fenómenos tales como la «lucha por la existencia», susceptibles de prueba empírica. La dinámica de poblaciones y la genética de poblaciones, que está relacionada, ya se han convertido en importantes campos de investigación biológica.

Es importante advertir que la investigación de este género no pertenece sólo a la biología básica sino también a la aplicada. Es el caso de la biología pesquera, donde se usan modelos teóricos a fin de establecer condiciones óptimas para la explotación del mar (examen de los modelos más importantes: Watt, 1958). El modelo dinámico más acabado se debe a Beverton y Holt (1957;

resumen en Holt, s.f.), para poblaciones de peces explotadas comercialmente, pero sin duda con mayores aplicaciones posibles. Este modelo toma en cuenta el reclutamiento (el ingreso de individuos a la población), el crecimiento (supuesto conforme a la ecuación de crecimiento según Bertalanffy), la captura (por explotación) y la mortalidad natural. El valor práctico de este modelo lo ilustra el hecho de que haya sido adoptado para fines de rutina por la Food and Agriculture Organization de las Naciones Unidas, el British Ministry of Agriculture and Fisheries y otros organismos oficiales.

Los estudios de Richardson acerca de las carreras armamentistas (cf. Rapoport, 1957, 1960), con todo y sus limitaciones, muestran de modo impresionante la posible repercusión del concepto de sistema sobre el más vital de los cuidados en nuestro tiempo. Si las consideraciones racionales y científicas han de contar algo, he aquí un camino para rechazar frases hechas, como *si vis pacem para bellum*.

Las expresiones usadas en dinámica de poblaciones y «lucha por la existencia» biológica, en econometría, en el estudio de las carreras armamentistas (y de otras índoles), pertenecen —todas— a la misma familia de ecuaciones (el sistema discutido en el capítulo III). Sería muy interesante y provechosa la comparación sistemática y el estudio de estos paralelismos (cf. también Rapoport, 1957, p. 88). Puede sospecharse, p. ej., que las leyes que rigen los ciclos de negocios y las de las fluctuaciones de población, de acuerdo con Volterra, proceden de condiciones similares de competencia e interacción en el sistema.

De una manera no matemática, Boulding (1953) ha discutido lo que llama «leyes férreas» de las organizaciones sociales: la ley malthusiana, la ley de las dimensiones óptimas de las organizaciones, la existencia de ciclos, la ley del oligopolio, etc.

INGENIERÍA DE SISTEMAS. El interés teórico de la ingeniería de sistemas y la investigación de operaciones recae en el hecho de que sea posible someter al análisis de sistemas entidades cuyos componentes son de lo más heterogéneos: hombres, máquinas, edificios, valores monetarios y de otros, insumo de materia prima, salida de productos y otras muchas cosas.

Tal como se mencionó ya, la ingeniería de *sistemas* emplea la metodología de la cibernética, la teoría de la información, el análisis de redes, diagramas de flujo y de bloques, etc. También intervienen consideraciones de la «T.G.S.» (A. D. *Hall, 1962)*. Los primeros enfoques se ocupan de aspectos estructurados, tipo maquina (decisiones de sí o no en el caso de la teoría de la información); sería de suponerse que los aspectos de la «T.G.S.» ganarán en importancia con los aspectos dinámicos, las organizaciones flexibles, etcétera.

TEORÍA DE LA PERSONALIDAD. Si bien se teoriza inmensamente acerca de la función neural y psicológica, siguiendo la línea cibernética fundada en la comparación entre cerebro y computadora, pocas veces se ha intentado aplicar la «T.G.S.» en el sentido más estrecho a la teoría de la conducta humana (p. ej. Krech, 1956; Menninger, 1957), que para los presentes fines puede *casi* igualarse a la teoría de la personalidad.

Hay que tener presente desde el principio que hoy por hoy la teoría de la personalidad es un campo de batalla entre teorías encontradas y controvertibles. Hall y Lindzey (1957, p. 71) afirman con razón: «Todas las teorías del comportamiento son muy poca cosa y todas dejan mucho que desear por el lado de la prueba científica» —y esto en un libro de cerca de 600 páginas dedicado a las teorías de la personalidad.

No es cosa, pues, de esperar que la «T.G.S.» ofrezca soluciones donde los teóricos de la personalidad, de Freud y Jung a la multitud de autores modernos, no acertaron. La teoría resultará valiosa si abre nuevos panoramas y puntos de vista susceptibles de aplicación experimental y práctica. Tal parece ser el caso. Hay un buen grupo de psicólogos que aceptan una teoría organísmica de la personalidad. Goldstein y Maslow son representantes bien conocidos.

Por supuesto, hay que empezar por preguntar si la «T.G.S.» no será más que nunca un símil fisicalista, inaplicable a los fenómenos psíquicos, y además si semejante modelo tendrá valor explicativo cuando las variables pertinentes no puedan ser definidas cuantitativamente, como suele acontecer con los fenómenos psicológicos.

(1) La respuesta a la *primera* pregunta parece ser que el concepto de sistema es lo bastante abstracto y general para permitir su aplicación a entidades de cualquier denominación. Las nociones de «equilibrio», «homeostasia», «retroalimentación», «*stress*», etc.,

serán de origen tecnológico o fisiológico, pero aplicables más o menos bien a fenómenos psicológicos. Los teóricos de sistemas coinciden en que el concepto de «sistema» no está limitado a entidades materiales sino que puede aplicarse a cualquier «todo» que consista en «componentes» que interactúen.

(2) Si la cuantificación es imposible, e inclusive si los componentes de un sistema están mal definidos, puede al menos esperarse que algunos principios sean aplicables cualitativamente al total *qua* sistema. Al menos se llegará a una «explicación en principio» (véase más adelante).

Teniendo presentes estas limitaciones, un concepto que quizá demuestre tener naturaleza esencial es la noción organísmica del organismo como sistema espontáneamente activo. En palabras del presente autor:

> Aun bajo condiciones externas constantes y en ausencia de estímulos externos, el organismo no es un sistema pasivo sino básicamente activo. Esto se aplica en particular a la función del sistema nervioso y al comportamiento. Se diría que la actividad interna, antes que la reacción a estímulos, es fundamental. Esto puede mostrarse con respecto tanto a la evolución en los animales inferiores como al desarrollo, así en los primeros movimientos de embriones y fetos (von Bertalanffy, 1960a.)

Esto está de acuerdo con lo que von Holst ha llamado «nueva concepción» del sistema nervioso, basada en el hecho de que las actividades locomotoras primitivas son causadas por automatismos centrales que no requieren estímulos externos. De esta suerte, tales movimientos persisten, p. ej., aun después de cortar la conexión entre nervios motores y sensitivos. El reflejo en sentido clásico deja de ser la unidad básica de la conducta; se trata de un mecanismo regulador superpuesto a actividades primitivas, automáticas. Un concepto afín es fundamental en la teoría del instinto. Según Lorenz, los mecanismos desencadenantes innatos (I.R.N. en inglés) desempeñan un papel dominante y a veces se manifiestan sin estímulo externo (reacciones *in vacuo*): un pájaro que carezca de material para hacer su nido ejecuta a veces en el aire los movimientos de dicha elaboración. Estas consideraciones caen dentro de la estructura de lo que Hebb (1955) llamó «S.N.C. conceptual de 1930-1950». Los más recientes conocimientos sobre los sistemas activadores del cerebro hacen otro hincapié —y con abundancia de testimonios

experimentales— en el mismo concepto básico de la actividad autónoma del S.N.C.

La significación de estos conceptos se vuelve evidente cuando consideramos que contrastan de modo fundamental con el esquema ordinario de estímulo-respuesta, que supone que el organismo es un sistema esencialmente reactivo que responde, como un autómata, a estímulos externos. El predominio del esquema E-R en la psicología contemporánea no necesita ser subrayado, y se vincula evidentemente al *Zeitgeist* de una sociedad altamente mecanizada. Este principio sustenta teorías psicológicas que por todas las otras partes se oponen, p. ej. la psicología conductista y el psicoanálisis. De acuerdo con Freud, la tendencia suprema del organismo es quitarse de encima tensiones y pulsiones y reposar en un estado de equilibrio regido por el «principio de estabilidad» que tomó Freud del filósofo alemán Fechner. Así, el comportamiento neurótico y psicótico es un mecanismo de defensa, más o menos efectivo o fallido, que tiende a restaurar algún tipo de equilibrio (según el análisis por D. Rapaport, 1960, de la estructura de la teoría psicoanalítica: puntos de vista «económico» y «adaptativo»).

Charlotte Bühler (1959), bien conocida psicóloga de niños, ha resumido felizmente la situción teórica:

> En el modelo psicoanalítico fundamental hay sólo una tendencia básica, hacia la *satisfacción de necesidades* o la *reducción de tensiones*... Las teorías biológicas que hoy subrayan la «espontaneidad» de la actividad del organismo, debida a su energía acumulada. El funcionamiento autónómo del organismo, su «impulso a realizar determinados movimientos», es cosa en la que insiste Bertalanffy... Estos conceptos representan *una completa revisión del principio original de homeostasia,* que insistía únicamente en la tendencia al equilibrio. Fue con el principio original de la homeostasia con el cual el psicoanálisis identificó su teoría de la descarga de tensiones como única tendencia primaria. (Subrayados en parte nuestros.)

En una palabra, podemos definir nuestro punto de vista como «más allá del principio homeostático»:

(1) El esquema E-R no cubre los terrenos del juego, las actividades exploratorias, la creatividad, la autorrealización, etc.

(2) El esquema económico no cubre los logros específicamente

humanos —la mayor parte de lo que aproximadamente se designa como «cultura humana».

(3) El principio de equilibrio no tiene en cuenta que las actividades psicológicas y de comportamiento son más que relajamientos de tensiones; lejos de establecer un estado óptimo, estos últimos pueden acarrear trastornos de índole psicótica, así, p. ej., en los experimentos de privación sensoria.

Se diría que el modelo de E-R y psicoanalítico es una imagen muy irreal de la naturaleza humana y, en sus consecuencias, bastante peligrosa. Precisamente lo que tenemos por logros específicamente humanos es difícil de subsumir bajo el esquema utilitario de homeostasia y estímulo-respuesta. Podrá decirse que el alpinismo, la composición de sonatas o de poemas líricos, son «homeostasia psicológica» —y se ha dicho—, pero a riesgo de que este concepto fisiológico bien definido pierda todo significado. Más aun, si el principio del mantenimiento homeostático es tomado como regla de oro del comportamiento, el individuo llamado bien ajustado será la meta última, un robot bien aceitado que se mantenga en óptima homeostasia biológica, psicológica y social. He aquí un «mundo feliz», que para más de cuatro no constituye el estado ideal de la humanidad. Además, tampoco hay que perturbar el precario equilibrio mental: en lo que irónicamente se denomina educación progresiva, hay que afanarse por no sobrecargar al niño, no imponer restricciones y minimizar las influencias directoras, lo cual trae como resultado una cosecha de ignorantes y de delincuentes juveniles sin precedente.

En contraste con la teoría habitual, puede bien mantenerse que no solamente esfuerzos y tensiones llegan a ser neurotógenos o aun psicotógenos, sino asimismo la liberación igualmente completa de estímulos, y el consiguiente vacío mental. Esto es verificado experimentalmente en los estudios de privación sensoria: los sujetos, aislados de todo estímulo externo, en pocas horas sucumben a la llamada psicosis modelo, con alucinaciones, angustia insufrible, etc. Clínicamente es lo mismo que cuando el aislamiento conduce a la psicosis del prisionero y a la exacerbación de la enfermedad mental en reclusión. En contraste, el máximo *stress* no produce necesariamente trastornos mentales. De ser cierta la teoría acostumbrada, Europa durante la Guerra Mundial y después, con sus extremas tensiones fisiológicas y psicológicas, habría sido un manicomio gigantesco. La realidad es que no hubo aumento estadístico ni

en neurosis ni en perturbaciones psicóticas, aparte de trastornos agudos fáciles de explicar, como la neurosis de combate (capítulo IX).

Llegamos con ello a la concepción de que buena parte del comportamiento biológico y humano cae más allá de los principios de utilidad, homeostasia y estímulo-respuesta, y de que es precisamente esto lo característico de las actividades humanas y culturales. Esta nueva visión abre perspectivas no sólo en teoría sino en la práctica, para la higiene mental, la educación y la sociedad en general (ver capítulo IX).

Lo dicho puede expresarse también en términos filosóficos. Si los existencialistas hablan de la vacuidad y sinsentido de la vida, si ven en ella una fuente no ya de angustia sino de positiva enfermedad mental, el punto de vista es esencialmente el mismo: que el comportamiento no es sólo cosa de satisfacción de impulsos biológicos y de mantener el equilibrio psicológico y social, sino que las cosas son más complicadas. Si la vida se hace insoportablemente vacía en una sociedad industrializada, ¿qué le queda a la persona más que generar una neurosis? El principio, que pudiera llamarse, sin rigor, actividad espontánea del organismo psicofísico, es una formulación más realista de lo que los existencialistas quieren decir en su lenguaje a menudo tan oscuro. Y si teóricos de la personalidad como Maslow o Gardner Murphy hablan de autorrealización como meta humana, se trata una vez más de una expresión un tanto pomposa de lo mismo.

HISTORIA TEÓRICA. Llegamos a esas entidades supremas y mal definidas que se llaman culturas y civilizaciones humanas. Es el campo que se acostumbra llamar «filosofía de la historia». Quizá valiese más hablar de «historia teórica» —en pañales, ni que decir tiene. Este nombre expresa el propósito de establecer un nexo entre «ciencia» y «humanidades», más en particular entre las ciencias sociales y la historia.

Se entiende, por supuesto, que las técnicas de la sociología y la historia difieren por completo (encuestas, análisis estadístico, frente a estudios en archivos, testimonio interno de restos históricos, etc.). Con todo, el objeto de estudio es en el fondo el mismo. La sociología se ocupa ante todo de ver en sección transversal en el tiempo cómo *son* las sociedades humanas; la historia estudia «longitudinalmente» cómo las sociedades *devienen* y se desarrollan.

El objeto y las técnicas de estudio justifican de sobra la diferenciación práctica, pero no está nàda claro que justifiquen filosofías fundamentalmente diferentes.

Estas últimas palabras implican la cuestión de las construcciones en la historia, como las que presentaron a lo grande Vico, Hegel, Marx, Spengler o Toynbee. Los historiadores profesionales las ven, en el mejor de los casos, como poesía; en el peor, como fantasías que encajan, con obsesión paranoide, los hechos de la historia en el lecho de Procusto de una teoría. Diríase que la historia podría aprender de los teóricos de los sistemas, si no soluciones últimas, al menos una actitud metodológica más sana. Problemas hasta aquí tenidos por filosóficos o metafísicos se logran definir en su sentido científico, haciendo intervenir de paso algunos interesantes adelantos recientes (p. ej. la teoría de los juegos).

La crítica empírica cae fuera del alcance del presente estudio. Por ej., Geyl (1958) y otros muchos han analizado evidentes deformaciones de acontecimientos históricos en la obra de Toynbee, y hasta el lector no especialista compila con facilidad una lista de falacias, sobre todo a partir de los últimos volúmenes, inspirados por el Espíritu Santo, del *magnum opus* de Toynbee. Pero el problema va más allá de los errores de hecho o interpretación, o aun de la cuestión de los méritos de las teorías de Marx, Spengler o Toynbee: lo principal es si modelos y leyes serán admisibles en la historia.

Muchos sostienen que no. Es el concepto del método «nomotético» en la ciencia y del método «idiográfico» en la historia. En tanto que la ciencia, en menor o mayor grado, consigue establecer «leyes» para los acontecimientos naturales, la historia, ocupada de acontecimientos humanos de enorme complejidad en causas y consecuencias, presumiblemente determinados por libres decisiones de individuos, apenas alcanza a describir, más o menos satisfactoriamente, lo que ocurrió en el pasado.

Aquí el metodólogo hace el primer comentario. En la actitud que hemos esbozado, la historia académica condena las construcciones en la historia por «intuitivas», «contrarias a los hechos», «arbitrarias», etc. Y no hay duda de que tal crítica escuece bastante a un Spengler o un Toynbee. Algo menos convincente resulta si se considera la labor de la historiografía ordinaria. Por ejemplo, el historiador holandés Peter Geyl, que extrajo de consideraciones metodológicas un vigoroso alegato contra Toynbee, es autor asimismo de un brillante libro sobre Napoleón (1949), en el que concluye

que hay cosa de una docena de interpretaciones diferentes —*modelos*, bien podríamos decir— del carácter y la vida de Napoleón, sin salir de la historia académica y fundadas todas en «hechos» (ya que el período napoleónico es de los mejor documentados), si bien todas se contradicen palmariamente. Van, a grandes rasgos, desde las que ven a Napoleón como brutal tirano y enemigo egoísta de la libertad humana, hasta la visión de Napoleón como sapiente planeador de una Europa unificada. Si uno es estudioso de Napoleón (como lo es, en no muy gran medida, quien esto escribe), es fácil traer a cuento algunos documentos originales que refuten conceptos errados que figuran inclusive en historias muy conocidas y utilizadas. Pongamos las cartas sobre la mesa: si hasta una figura como Napoleón, no muy distante en el tiempo y con la mejor documentación histórica, puede interpretarse de modos contradictorios, no se puede criticar a los «filósofos de la historia» por su proceder intuitivo, su sesgo subjetivo, etc., al enfrentarse al enorme fenómeno de la historia universal. En los dos casos se trata de un modelo conceptual que siempre representará algunos aspectos nada más, y por esa razón será unilateral y hasta torcido. O sea que la construcción de modelos conceptuales en la historia no sólo es permisible sino que, de hecho, constituye la base de cualquier interpretación histórica, diferenciada de la mera enumeración de datos —la crónica o los anales.

Si se concede esto, la antítesis entre los procedimientos nomotético e idiográfico se reduce a lo que los psicólogos gustan de llamar actitudes «molecular» y «molar». Pueden analizarse los acontecimientos dentro de un todo complejo —distintas reacciones químicas en un organismo, p. ej., percepciones en la psique— o pueden buscarse leyes de conjunto que gobiernen la totalidad, así el crecimiento y desenvolvimiento en el primer caso, la personalidad en el segundo. En términos de historia, esto implica el estudio detallado de individuos, tratados, obras de arte, causas y efectos singulares, etc., o de fenómenos totales, con la esperanza de descubrir grandes leyes. Hay, por supuesto, todos los términos medios entre la primera y la segunda consideraciones; los extremos serían ilustrados por Carlyle y su culto al héroe y, en el otro polo, Tolstoi (que era un «historiador teórico» mucho más grande de lo que se acostumbra admitir).

De modo que la cuestión de la «historia teórica» es sobre todo la de los modelos «molares» en tal campo, y esto es lo que son

las construcciones de la *historia* cuando se las limpia de encajes filosóficos.

La evaluación de estos modelos debe seguir las reglas generales de la verificación o la falsificación. Está, primero, la consideración de bases empíricas. En este caso particular, equivale a preguntar si un número limitado de civilizaciones —20 o cosa así, cuando más— bastará o no para servir de muestra representativa a fin de establecer generalizaciones justificadas. Esta cuestión y la del valor de los modelos propuestos será respondida por el criterio general: si el modelo tiene o no valor explicativo y predictivo, es decir, si proyecta nueva luz sobre hechos conocidos y prevé atinadamente hechos del pasado o el futuro no conocidos previamente.

Aunque elementales, estas consideraciones están en situación de suprimir muchos malos entendidos y mucha neblina filosófica que han enturbiado el punto.

(1) Tal como se ha subrayado, la evaluación de modelos debe ser sencillamente pragmática, en términos de sus méritos explicativos y predictivos (o de su falta de ellos); no tienen por qué intervenir, pues, consideraciones *a priori* a propósito de su deseabilidad o de sus consecuencias morales.

Aquí topamos con una situación bastante singular. Hay poca objeción contra las llamadas leyes «sincrónicas», supuestas regularidades que gobiernan las sociedades en determinado momento: a decir verdad, al lado del estudio empírico es ésta la meta de la sociología. También hay leyes «diacrónicas», regularidades de desarrollo en el tiempo, que nadie disputa, p. ej. la ley de Grimm que da reglas sobre las mutaciones consonánticas en la evolución de la lenguas indoeuropeas. Es ya lugar común la existencia de «ciclos de vida» —primitivismo, madurez, disolución barroca de la forma y decadencia final, sin causas externas particulares señalables— en campos de la cultura como la escultura griega, la pintura renacentista o la música alemana. Incluso esto tiene su correlato en ciertos fenómenos de evolución biológica; así en las ammonitas y los dinosaurios la fase inicial explosiva de formación de nuevos tipos, seguida de una fase de especiación y finalmente decadencia.

La crítica se hace violenta cuando este modelo es aplicado a la civilización como un todo. Es legítimo preguntarse por qué modelos de las ciencias sociales a menudo tan poco realistas son tema de discusión académica, en tanto que los modelos de la historia

tropiezan con enconada resistencia. Aceptando todas las críticas de hecho alzadas contra Spengler o Toynbee, parece obvio, con todo, que hay de por medio factores emocionales. El camino de la ciencia está sembrado de cadáveres de teorías difuntas; unas se pudren sin más, otras se instalan momificadas en el museo de la historia de la ciencia. En contraste, las construcciones históricas, y en especial las teorías de los ciclos históricos, parecen tocar en carne viva y despiertan oposición muy superior a la crítica usual de una teoría científica.

(2) Esta participación emocional tiene que ver con la cuestión de la «inevitabilidad histórica» y una supuesta degradación de la «libertad» humana. Antes de pasar a ello convendrá discutir los modelos matemáticos y no matemáticos.

Son bien conocidas las ventajas y los inconvenientes de los modelos matemáticos en las ciencias sociales (Arrow, 1956; Rapoport, 1957). Todo modelo matemático es una sobresimplificación, y es discutible si reduce a los huesos los acontecimientos reales o si arranca partes vitales de su anatomía. Por un lado, mientras sirve, permite la deducción necesaria, a menudo con resultados inesperados que no se obtendrían merced al «sentido común» ordinario.

En particular, Rashevsky ha mostrado en varios estudios cómo pueden construirse modelos matemáticos de procesos históricos (Rashevsky, 1951, 1952).

Por otro lado, no debe subestimarse el valor de los modelos puramente cualitativos. P. ej., el concepto de «equilibrio ecológico» fue desarrollado mucho antes de que Volterra y otros implantaran modelos matemáticos; la teoría de la selección es pan de cada día en biología, pero la teoría matemática de la «lucha por la existencia» es comparativamente reciente y anda lejos de haber sido verificada en condiciones de vida libre.

En fenómenos complejos, la «explicación en principio» (Hayek, 1955) mediante modelos cualitativos es preferible a la carencia total de explicación. Esto no se limita en modo alguno a las ciencias sociales y a la historia; se aplica igualmente a campos como la meteorología o la evolución.

(3) La «inevitabilidad histórica» —tema de un célebre estudio de Sir Isaiah Berlin (1955)—, temida como consecuencia de la «historia teórica», y que supuestamente contradice nuestra experiencia directa de disponer de elecciones libresy elimina todos los juicios

y valores morales, es una fantasmagoría basada en una visión del mundo que ya no existe. Como lo subraya Berlin, se funda en el concepto del espíritu laplaciano, en condiciones de predecir cabalmente el porvenir a partir del pasado, por medio de leyes deterministas. Esto no *tiene* que ver con el moderno concepto de «ley de la naturaleza». Todas las «leyes de la naturaleza» son de carácter estadístico. No predicen un porvenir inexorablemente determinado, sino probabilidades que, dependiendo de la naturaleza de los acontecimientos y de las leyes disponibles, pueden acercarse a la certidumbre o faltarles mucho para alcanzarla. No tiene sentido pedir o temer más «inevitabilidad» en la teoría histórica que en ciencias relativamente refinadas, como la meteorología o la economía.

Paradójicamente, aunque la causa del libre albedrío descansa en el testimonio de la intuición o, más bien, de la experiencia inmediata, y jamás puede probarse objetivamente («¿Fue el libre albedrío de Napoleón el que lo condujo a la campaña de Rusia?»), el determinismo (en sentido estadístico) puede ser probado, al menos en modelos en pequeña escala. Es seguro que los negocios dependen de la «iniciativa» personal, la «decisión» individual y la «responsabilidad» del empresario; la elección, por parte del administrador, entre expansión o no expansión del negocio es «libre» en el mismo sentido precisamente que la elección, por parte de Napoleón, entre aceptar o no batalla en la Moskvá. Sin embargo, cuando se analiza la curva de crecimiento de compañíias industriales, se encuentra que desviaciones «arbitrarias» van seguidas de presto retorno a la curva normal, como si actuaran fuerzas invisibles. Haire (1959, p. 283) afirma que «el retorno a la pauta predicha por el curso anterior insinúa la operación de *fuerzas inexorables* que operan en el organismo social» (nosotros subrayamos).

Resulta característico que uno de los puntos de Berlin sea «la falacia del determinismo histórico en virtud de su total inconsistencia con el sentido común y modo cotidiano de ver los asuntos humanos». Este argumento típico es de igual naturaleza que el consejo de no adoptar el sistema copernicano porque todo el mundo puede ver que es el sol y no la tierra el que se mueve de la mañana a la noche.

(4) Recientes adelantos matemáticos incluso permiten someter el «libre albedrío» —el problema filosófico más resistente al análisis científico— a examen matemático.

A la luz de la moderna teoría de los sistemas, la disyuntiva entre enfoques molar y molecular, nomotético e idiográfico, es susceptible de recibir significado preciso. Para el comportamiento de masas se aplicarían leyes de sistemas que, si pudieran ser matematizadas, tendrían la forma de ecuaciones diferenciales del tipo de las usadas por Richardson (cf. Rapoport, 1957) y que ya mencionamos. En contraste, la libre elección por el individuo quedaría descrita por formulaciones de la índole de las teorías de los juegos y la decisión.

Axiomáticamente, las teorías de los juegos y la decisión se ocupan de elecciones «racionales». Quiere esto decir que la elección «maximizará el provecho o la satisfacción para el individuo», que «el individuo es libre de elegir entre varios caminos de acción posibles y decide de acuerdo con sus consecuencias», que, «informado de todas las consecuencias concebibles de sus acciones, escoge la que figura más alto en su lista», que «prefiere más de un bien que menos, en igualdad de las demás circunstancias», etc. (Arrow, 1956). En lugar de ganancia económica puede insertarse cualquier valor superior sin modificar la formulación matemática.

La anterior definición de «elección racional» incluye todo lo que puede significarse por «libre albedrío». Si no queremos igualar el «libre albedrío» a la arbitrariedad completa, la carencia de todo juicio de valor y, así, acciones completamente inconsecuentes (como en el ejemplo favorito del filósofo: depende de mi libre albedrío el que mueva o no mi meñique izquierdo), no es mala definición de las acciones de que se ocupan el moralista, el sacerdote o el historiador: libre decisión entre posibilidades fundada en discernimiento de la situación y sus consecuencias y guiada por valores.

La dificultad de aplicar la teoría inclusive a situaciones reales y sencillas es enorme, no hay ni que decirlo. Sin embargo, sin formulación explícita pueden evaluarse en principio ambos enfoques, lo cual lleva a una paradoja inesperada.

El «principio de racionalidad» se ajusta no a la mayoría de las acciones humanas sino antes bien a la conducta «no razonada» de los animales. Los animales y los organismos en general funcionan de modo «raciomorfo», maximizando valores tales como la preservación, la satisfacción, la supervivencia, etc.; escogen en general lo que es biológicamente bueno para ellos y prefieren más cantidad de un bien (comida, p. ej.) que menos.

Por otra parte, el comportamiento humano cae lejos del principio de racionalidad. Ni siquiera hace falta citar a Freud para apuntar cuán reducido es el alcance del comportamiento racional en el hombre. Las mujeres en el supermercado no suelen maximizar su provecho sino que son sensibles a las tretas del publicista y el empacador; no hacen una elección racional revisando todas las posibilidades y consecuencias, y ni siquiera prefieren más cantidad de un producto envuelto discretamente que menos de lo mismo, pero metido en una gran caja roja con un dibujo atractivo. En nuestra sociedad hay una serie de especialistas influyentes —publicistas, investigadores de la motivación, etc.— que se ocupan de *hacer* irracionales las elecciones, sobre todo acoplando factores biológicos —reflejos condicionados, pulsiones inconscientes— a valores simbólicos (cf. von Bertalanffy, 1956a).

Y de nada sirve pretender que esta irracionalidad de la conducta humana sólo concierne a acciones triviales de la vida cotidiana, pues el mismo principio se aplica a las decisiones «históricas». Oxenstierna, viejo zorro y canciller sueco durante la Guerra de los Treinta años, expresó esto a la perfección: *Nescis, mi fili, quantilla ratione mundus regatur* —no sabes, muchacho, con cuán poca razón es gobernado el mundo—. Al leer los periódicos u oír la radio se nota en seguida que esto es tal vez más aplicable aún al siglo XX que al XVII.

Metodológicamente, hay que sacar una conclusión notable. Si se tiene que aplicar uno de los dos modelos, y si es adoptado el «principio de actualidad», básico en campos históricos como la geología y la evolución (la hipótesis de que no debe recurrirse a más hipótesis o principios explicativos que los observados en operación al presente), es el modelo estadístico o de masas el que está respaldado por la evidencia empírica. Las faenas del investigador de la motivación y la opinión, del psicólogo estadístico, etc., se basan en la premisa de que se dan leyes estadísticas en el comportamiento humano, y que por esa razón una muestra restringida pero bien elegida permite extrapolar a la población total considerada. Los resultados generalmente buenos de las encuestas Gallup verifican la premisa —con uno que otro fracaso, como el bien conocido de la elección de Truman, tal como es de esperarse de las predicciones estadísticas—. La pretensión opuesta —que la historia es regida por el «libre albedrío» en sentido filosófico (decisión racional en pos de lo mejor, el valor moral superior o incluso interés propio

visto con listeza)— no es sustentada por los hechos. Que «individualistas descomedidos» violen aquí y allá la ley estadística, es cosa que entra en su naturaleza. Ni el papel desempeñado por «grandes hombres» en la historia contradice el concepto de sistemas en la historia; pueden imaginarse como «partes conductoras», «disparadores» o «catalizadores» en el proceso histórico, fenómeno del que da bien razón la teoría general de los sistemas.

(5) Otra cuestión es la de la «analogía organísmica», unánimemente condenada por los historiadores. Combaten sin cuartel contra la naturaleza «metafísica», «poética», «mítica» y enteramente anticientífica del aserto de Spengler de que las civilizaciones son una especie de «organismos», que nacen, se desarrollan siguiendo sus leyes internas y acaban por morir. Toynbee (1961, p. ej.) se afana mucho en subrayar que no cayó en la trampa spengleriana, aun cuando sea bastante difícil ver sus civilizaciones —conectadas por relaciones biológicas de «afiliación» y «emparentamiento», aun con estricto lapso de desarrollo— como no concebidas organísmicamente.

Nadie sabe mejor que el biólogo que las civilizaciones no son «organismos». Es trivial ver que un organismo biológico, una entidad y unidad material en el espacio y en el tiempo, difiere de un grupo social consistente en individuos distintos, y todavía más de una civilización, consistente en generaciones de seres humanos, de productos materiales, instituciones, ideas, valores y cuántas cosas más. Es mucho subestimar la inteligencia de Vico, de Spengler (o de cualquier individuo normal) suponer que no se dieron cuenta de algo tan obvio.

Con todo, es interesante notar que, en contraste con los escrúpulos del historiador, los sociólogos no aborrecen la «analogía organísmica» sino que la dan por sabida. Dicen, p. ej., Rapoport y Horvath (1959):

> Tiene algún sentido considerar una organización real como un organismo, esto es, hay razón para creer que esta comparación no es una estéril analogía metafórica, como era común en la especulación escolástica acerca del cuerpo político. En las organizaciones son demostrables funciones cuasibiológicas. Se mantienen; a veces se reproducen o metastatizan; responden a tensiones; envejecen, y mueren. Las organizaciones tienen anatomías

discernibles, y cuando menos las que transforman insumos materiales (como las industrias) tienen fisiologías.

Y Sir Geoffrey Vickers (1957):

> Las instituciones crecen, se reparan, se reproducen, decaen, se disuelven. En sus relaciones externas exhiben muchas características de la vida orgánica. Hay quienes piensan que en sus relaciones internas también las instituciones humanas están destinadas a tornarse crecientemente orgánicas, que la cooperación humana se acercará cada vez más a la integración de las células en un cuerpo. Hallo este panorama no convincente y desagradable.

Lo mismo le parece al presente autor. Pero oigamos a Haire (1959, p. 272):

> El modelo biológico de las organizaciones sociales —y aquí, en particular, las organizaciones industriales— implica tomar como modelo el organismo viviente y los procesos y principios que regulan su crecimiento y desarrollo. Significa buscar procesos sometidos a leyes en el crecimiento organizacional.

El hecho de que leyes simples de crecimiento sean aplicables a entidades sociales tales como las compañías manufactureras, a la urbanización, la división del trabajo, etc., prueba que a estos respectos la «analogía organísmica» es correcta. Pese a las protestas de los historiadores, la aplicación de modelos teóricos, en particular el modelo de los sistemas dinámicos, abiertos y adaptativos (McClelland, 1958), al proceso histórico, tiene ciertamente sentido. Esto no implica «biologismo», reducción de conceptos sociales a biológicos, sino que refleja la intervención de principios de sistemas en ambos campos.

(6) Dando por acogidas todas las objeciones —mal método, errores de hecho, enorme complejidad del proceso histórico—, tenemos sin embargo que admitir, gústenos o no, que los modelos cíclicos de la historia pasan la más importante prueba de las teorías científicas. Las predicciones de Spengler en *La decadencia de Occidente*, las de Toynbee al prever tiempos revueltos y Estados contendientes, las de Ortega y Gasset en *La rebelión de las masas* —podríamos agregar de una vez *Un mundo feliz* y *1984*—, se han cumplido en grado inquietante, considerablemente mejor que muchos respetables modelos de los científicos sociales.

¿Implica esto «inevitabilidad histórica» e inexorable disolución? Una vez más, no atinaron con la sencilla respuesta los historiadores moralizantes y filosofantes. Por extrapolación a partir de los ciclos vitales de civilizaciones previas, nadie habría predicho la Revolución industrial, la explosión demográfica, el descubrimiento de la energía atómica, el surgimiento de naciones subdesarrolladas y la expansión de la civilización occidental por todo el globo. ¿Refuta esto el pretendido modelo y «ley» de la historia? No; tan sólo afirma que ese modelo —como todos en la ciencia— refleja sólo algunos aspectos o facetas de la realidad. Ningún modelo se hace peligroso mientras no cae en la falacia del «nada sino» que perjudica no solamente a la historia teórica sino a los modelos de la imagen mecanicista del mundo, a los del psicoanálisis y a otros muchos más.

En este repaso aspiramos a haber mostrado que la teoría general de los sistemas ha contribuido a la expansión de la teoría científica, que ha conducido a nuevas visiones y principios y ha abierto nuevos problemas «investigables», es decir que se prestan a mayor estudio, experimental o matemático. Son obvias las limitaciones de la teoría y de sus aplicaciones en el estado actual, pero los principios parecen ser en lo esencial acertados, según se aprecia por su aplicación a diferentes campos.

V. El organismo considerado como sistema físico

El organismo como sistema abierto

La fisicoquímica expone la teoría de la cinética y los equilibrios en los sistemas químicos. Considérese como ejemplo la reacción reversible de formación de un éster:

$$C_2H_5OH + CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5 + H_2O,$$

donde siempre se establecerá determinada razón cuantitativa entre alcohol y ácido acético por un lado, entre éster y agua por el otro.

La aplicación de principios de equilibrio fisicoquímico, especialmente de cinética química y la ley de acción de masas, ha demostrado tener fundamental importancia para explicar procesos fisiológicos. Un ejemplo es la función de la sangre, el transporte de oxígeno del pulmón a los tejidos del cuerpo y de dióxido de carbono formado en los tejidos hasta el pulmón, para ser exhalado; el proceso resulta de los equilibrios entre hemoglobina, oxihemoglobina y oxígeno, de acuerdo con la ley de acción de masas, y pueden formularse cuantitativamente no sólo las sencillas condiciones de la disolución de hemoglobina, sino las más complejas de la sangre de los vertebrados. Es bien conocida la importancia de la consideración cinética de las reacciones enzimáticas, la respiración, la fermentación, etc. Tienen importancia fisiológica fundamental otros equilibrios fisicoquímicos (de distribución, de difusión, de adsorción, electrostáticos) (cf. Moser y Moser-Egg, 1934).

Considerado el organismo como un todo, muestra características similares a las de los sistemas en equilibrio (cf. Zwaardemaker, 1906, 1927). Hallamos, en la célula y en el organismo multicelular, determinada composición, una razón constante entre los componentes, que a primera vista recuerda la distribución de componentes en un sistema químico en equilibrio y que, en gran medida, persiste en diferentes condiciones, luego de perturbación, con distintos tamaños corporales, etc.; hay independencia de la composición con respecto a la cantidad absoluta de los componentes, capacidad reguladora después de perturbaciones, constancia de composición en condiciones cambiantes y con nutrición cambiante, etc. (cf. von Bertalanffy, 1932, pp. 190*ss*; 1937, pp. 80*ss*).

Advertimos de inmediato que se dan sistemas en equilibrio en el organismo, pero que el organismo como tal no puede considerarse como un sistema en equilibrio.

El organismo no es un sistema cerrado sino abierto. Llamamos «cerrado» a un sistema si no entra en él ni sale de él materia; es «abierto» cuando hay importación y exportación de materia.

Hay, pues, un contraste fundamental entre los equilibrios químicos y los organismos metabolizantes. El organismo no es un sistema estático cerrado al exterior y que siempre contenga componentes idénticos: es un sistema abierto en estado (cuasi) uniforme, mantenido constante en sus relaciones de masas en un intercambio continuo de material componente y energías: entra continuamente material del medio circundante, y sale hacia él.

El carácter del organismo como sistema en estado uniforme (o, mejor, cuasiuniforme) es uno de sus criterios primarios. De manera general, los fenómenos fundamentales de la vida pueden considerarse consecuencias de este hecho. Al considerar el organismo por un lapso más breve, aparece como una configuración mantenida en estado uniforme por intercambio de componentes. Esto corresponde al primer campo principal de la fisiología general: la fisiología del metabolismo en sus aspectos químicos y energéticos. Superpuestas al estado uniforme hay ondas de procesos, menores y básicamente de dos clases. Están primero los procesos periódicos que se originan en el sistema mismo y son así autónomos (p. ej., movimientos automáticos de los órganos de la respiración, la circulación y la digestión; actividades eléctricas automático-rítmicas de los centros nerviosos y el cerebro, supuestamente resultantes de descargas químicas rítmicas; movimientos automáticos del organismo en conjunto).

En segundo lugar, el organismo reacciona a cambios temporales del medio circundante, a «estímulos», con fluctuaciones reversibles de su estado uniforme. Éste es el grupo de procesos causados por cambios de las condiciones externas y heteronómicamente subsumidos en la fisiología de la excitación. Pueden considerarse perturbaciones temporales del estado uniforme, a partir de las cuales el organismo retorna al «equilibrio», al fluir igual del estado uniforme. Tal consideración ha demostrado ser útil y conducir a formulaciones cuantitativas (cf. p. 141 *s*). Finalmente, la definición del estado del organismo como uniforme sólo es válida en primera aproximación, en la medida en que consideremos lapsos cortos en un organismo «adulto», como, p. ej., al investigar el metabolismo. Si tomamos el ciclo vital total, el proceso no es estacionario sino sólo cuasiestacionario, sujeto a cambios bastante lentos como para prescindir de ellos con determinados fines de indagación, y que comprende el desarrollo embrionario, el crecimiento, el envejecimiento, la muerte, etc. Estos fenómenos, no abarcados como es debido bajo el término de morfogénesis, representan el tercer gran complejo de problemas de la fisiología general. Tal consideración demuestra ser especialmente provechosa en áreas accesibles a la formulación cuantitativa.

En general, la fisicoquímica está limitada casi exclusivamente a la consideración de proceso en sistemas cerrados. A ellos se refieren las formulaciones bien conocidas; la ley de acción de masas, en particular, se usa sólo para la definición de verdaderos equilibrios químicos en sistemas cerrados. La aplicabilidad de equilibrios químicos, p. ej., a reacciones de transferencia se basa en el hecho de que se trata de reacciones iónicas rápidas que alcanzan el equilibrio. Los sistemas químicos abiertos apenas los considera la fisicoquímica. Es comprensible esta restricción de la cinética a los sistemas cerrados: es más difícil técnicamente establecer sistemas abiertos, y carecen de importancia esencial en la consideración puramente física. Con todo, tales disposiciones son fáciles de visualizar, p. ej. cuando en una reacción $a \rightleftarrows b$ el producto *b* de la reacción de izquierda a derecha es eliminado continuamente del sistema por algún medio adecuado (precipitación, diálisis a través de una membrana permeable sólo para *b* mas no para *a*, etc.), en tanto que se introduce continuamente *a* en el sistema. Sistemas de este género aparecen ocasionalmente en química tecnológica; la fermentación continua,

en la producción de ácido acético, es un ejemplo de lo que aquí llamamos «sistema químico abierto».

Sin embargo, tales sistemas tienen gran importancia para el biólogo. Pues sistemas químicos abiertos están de hecho realizados en la naturaleza en forma de organismos vivos, que se mantienen en continuo intercambio de sus componentes. «La vida es un equilibrio dinámico en un sistema polifásico» (Hopkins).

Necesitamos, entonces, una definición del llamado equilibrio estacionario —constancia de composición en el cambio de componentes—, así como las bien conocidas expresiones de la fisicoquímica definen auténticos equilibrios químicos en sistemas cerrados.

Es evidente que el sistema de reacción y las condiciones de reacción son infinitamente más complicados en los organismos que en los sistemas de que suele ocuparse la fisicoquímica. Hay reacciones entre un número extraordinario de componentes. Más aun, la célula y el organismo no son sistemas homogéneos (genuinas disoluciones), sino que representan sistemas coloidales altamente heterogéneos, de suerte que las reacciones no dependen sólo de la acción de masas sino de numerosos factores fisicoquímicos de adsorción, difusión, etc. Ni siquiera las reacciones enzimáticas en tubo de ensayo siguen sencillamente, por regla general, la ley de acción de masas. Siendo tal el caso, es claro que ni siquiera las reacciones de sistemas organísmicos sencillos podrán escribirse como un sistema cerrado de ecuaciones; esto sólo se logra para sistemas parciales aislados. Es posible, sin embargo, *primero,* enunciar algunos principios generales para sistemas abiertos, sin importar la naturaleza especial del sistema. En *segundo* lugar, aunque en vista del número enorme de reacciones que se dan en el organismo, y aun en una célula, sea imposible seguir reacciones determinadas, pueden emplearse expresiones que representen promedios estadísticos de una multitud de procesos incalculables y hasta desconocidos. Este proceder es ya aplicado en química al escribir fórmulas generales para reacciones que en realidad proceden en numerosas etapas. Análogamente, los balances en la fisiología del metabolismo y la bioenergética se basan en promedios estadísticos resultantes de numerosos procesos (en gran medida desconocidos) del metabolismo intermedio. Podemos, p. ej., resumir los procesos anabólicos y catabólicos como «asimilación» y «disimulación», respectivamente, y considerar, en primera aproximación, el estado uniforme como balance de «asimilación» y «disimilación». Tales magnitudes, que repre-

sentan promedios estadísticos de una multitud de procesos inextricables, sirven para el cálculo de modo parecido a como se hace en fisicoquímica en el caso de compuestos y reacciones definidos.

El mantenimiento del sistema en continuo fluir e intercambio de materia y energía, el orden de innumerables reacciones fisicoquímicas en una célula u organismo, que garantizan aquél, la conservación de razones constantes entre los componentes incluso en condiciones diferentes, después de perturbaciones, dadas diferentes dimensiones, etc., constituyen los problemas centrales del metabolismo orgánico. Éste cambio bifronte de los sistemas vivientes en la asimilación y la disimilación manifiesta —en palabras de von Tschermak (1916)— una tendencia hacia el mantenimiento de determinado estado, con la regeneración compensando el trastorno causado por la degeneración. ¿Cómo es que lo perdido en el proceso se reconstituye a partir de los materiales suministrados por la nutrición, que lo bloques de construcción liberados por enzimas hallen su lugar adecuado en el sistema organísmico, de suerte que sostenga su metabolismo? ¿Cuál es el principio de la «autorregulación automática» del metabolismo? Tenemos amplio conocimiento de procesos fisicoquímicos que se dan en la célula y en el organismo, pero no debemos perder de vista el hecho de que «aun después de completa explicación de cada uno de los procesos, seguimos a mil leguas de entender el metabolismo total de una célula» (M. Hartmann, 1927, p. 258). Poquísimo se sabe acerca de los principios que controlan los distintos procesos del modo antes indicado. Nada de raro tiene que este problema conduzca una y otra vez a conclusiones vitalistas (p. ej. Kottje, 1927).

Es claro que principios generales como los que vamos a desarrollar no llegan a suministrar una explicación detallada de estos problemas; podrán, cuando menos, indicar el fundamento físico general de una característica esencial de la vida, la autorregulación del metabolismo y la conservación de componentes a través del cambio. El modo especial como esto se realiza en los procesos metabólicos sólo lo puede determinar la investigación experimental. Es de esperarse, no obstante, que la consideración general despierte la atención hacia posibilidades hasta la fecha apenas tenidas en cuenta, y que las formulaciones propuestas, o ecuaciones parecidas, permitan describir fenómenos concretos.

Características generales de los sistemas químicos abiertos

Los auténticos equilibrios en sistemas cerrados y los «equilibrios estacionarios» en sistemas abiertos exhiben cierta semejanza, ya que el sistema, tomado en conjunto y considerado en sus componentes, se mantiene constante en ambos sistemas. Pero la situación física en los dos casos es fundamentalmente distinta. Los equilibrios químicos en sistemas cerrados se basan en reacciones reversibles; son consecuencia del segundo principio de la termodinámica y los define un mínimo de energía libre. Por el contrario, en los sistemas abiertos el estado uniforme no es reversible ni en conjunto ni en muchas reacciones. Por lo demás, el segundo principio sólo se aplica, por definición, a sistemas cerrados, y no define el estado uniforme.

De acuerdo con el segundo principio, un sistema cerrado *debe* a fin de cuentas alcanzar un estado de equilibrio independiente del tiempo, definido por máxima entropía y mínima energía libre (equilibrio térmico, derivación termodinámica de la ley de acción de masas por Van't Hoff, etc.), con razón constante entre las fases. Un sistema químico abierto *puede* alcanzar (suponiendo ciertas condiciones) un estado uniforme independiente del tiempo, en el cual el sistema persista constante en conjunto y en sus fases (macroscópicas), aunque haya un fluir continuo de materias componentes.

Un sistema cerrado en equilibrio no requiere energía para su preservación, ni puede obtenerse energía de él. P. ej., un depósito cerrado contiene una gran cantidad de energía (potencial), pero no sirve para impulsar un motor. Lo mismo pasa con un sistema químico en equilibrio. No está en estado de reposo químico; las reacciones proceden de continuo, reguladas por la ley de acción de masas de manera que se forme, de cada clase de moléculas o iones, tanto como lo que desaparece. Con todo, el equilibrio químico es incapaz de realizar trabajo. Para mantener los procesos en marcha no se requiere trabajo, ni puede obtenerse trabajo de ellos. La suma algebraica del trabajo obtenido de las reacciones elementales y empleado por ellas es igual a cero. A fin de realizar trabajo es necesario que el sistema no esté en un estado de equilibrio sino que tienda a alcanzarlo; sólo entonces puede obtenerse energía. A fin de conseguir esto continuamente, hay que disponer estacionariamente los sistemas, sean hidrodinámicos o químicos: hay que mantener un fluir uniforme de agua o sustancias químicas cuyo contenido energético se transforme en trabajo. Así, la capacidad

continua de trabajar no es posible en un sistema cerrado, que tiende a alcanzar cuanto antes el equilibrio, sino sólo en un sistema abierto. El aparente «equilibrio» hallado en un organismo no es un verdadero equilibrio incapaz de producir trabajo; es un seudo-equilibrio dinámico, mantenido constante a cierta distancia del equilibrio genuino, y con ello capaz de producir trabajo, si bien requiriendo, eso sí, suministro continuo de energía para guardar la distancia con respecto al equilibrio verdadero.

Para mantener el «equilibrio dinámico» es necesario que las velocidades de los procesos estén exactamente armonizadas. Sólo así es posible que algunos componentes sean demolidos, liberando así energía utilizable, en tanto que, por otro lado, la importación impide al sistema alcanzar el equilibrio. Las reacciones rápidas, también en el organismo, conducen al equilibrio químico (entre hemoglobina y oxígeno, p. ej.); las reacciones lentas no alcanzan el equilibrio sino que persisten en estado uniforme. Así, la condición para la existencia de un sistema químico en estado uniforme es cierta lentitud en las reacciones. Reacciones instantáneas, como las que se dan entre iones, llevan al equilibrio en un tiempo «infinitamente corto». El mantenimiento de un estado uniforme en el organismo se debe al hecho de estar constituido por complejos de carbono; por un lado, son ricos en energía, pero químicamente inertes, de modo que es posible el mantenimiento de abundante potencial químico; por otra parte, la liberación rápida y regulada de esta cantidad de energía se debe a acción enzimática, con lo cual se mantiene un estado uniforme.

Para derivar condiciones y características de estados uniformes podemos emplear una ecuación general de transporte. Sea Q_i una magnitud del elemento i-ésimo del sistema, p. ej. una concentración o energía en un sistema de ecuaciones simultáneas. Su variación puede ser expresada por:

$$\frac{\delta Q_i}{\delta t} = T_i + P_i \tag{5.1}$$

T_i representa la velocidad de transporte del elemento Q_i en un elemento de volumen en determinado punto del espacio, en tanto que P_i es la velocidad de producción.

Muchas ecuaciones que aparecen en física, biología y hasta sociología pueden ser consideradas casos especiales de (5.1).

Por ej., a escala molecular las P_i son las funciones que indican la velocidad de reacciones por las cuales las sustancias Q_i se forman y destruyen; T_i tendrá diferentes formas, según el sistema considerado. Si, p. ej., no hay fuerzas exteriores que influyan sobre las masas, las T_i serán expresadas por la ecuación de difusión de Fick. En caso de que las T_i desaparezcan, tendremos las ecuaciones acostumbradas para un conjunto de reacciones en un sistema cerrado; si P_i se esfuman, tenemos la ecuación simple de difusión, donde T_i tiene la forma $T_i = D_i \nabla^2 Q_i$ y el símbolo laplaciano ∇^2 representa la suma de derivadas parciales para x, y, z; D_i son coeficientes de difusión. En biología aparecen ecuaciones de este tipo, p. ej., en el crecimiento, y tampoco faltan en sociología y dinámica de poblaciones. En general, el ritmo de cambio de una población es igual al movimiento de población (inmigración menos emigración) más la tasa de reproducción (tasa de natalidad menos tasa de mortalidad).

En general, pues, tenemos un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales simultáneas. P_i, así como T_i, solerán ser funciones no lineales de Q_i y otras variables del sistema, aparte de ser funciones de las coordenadas espaciales x, y, z y del tiempo t. Para resolver la ecuación debemos conocer la forma especial de las ecuaciones y las condiciones iniciales y limitantes.

Para nuestros fines son importantes dos consideraciones, que podemos llamar secciones temporales transversales y longitudinales. El primer problema es el mantenimiento en un estado uniforme, lo cual, biológicamente, es el punto fundamental del metabolismo. El segundo concierne a cambios del sistema con respecto al tiempo, biológicamente expresados, p. ej. crecimiento. Mencionaremos de pasada otro problema: los cambios periódicos, como los que, en el dominio organísmico, son característicos de procesos autónomos, tales como los movimientos automático-rítmicos, etc. Estos tres aspectos corresponden a los problemas generales de los tres campos básicos de la fisiología (cf. pp. s).

El problema de la «sección temporal longitudinal», de los cambios del sistema en el tiempo, será resuelto merced a la solución de ecuaciones diferenciales de tipo (5.1).

Como ejemplo sencillo considérese un sistema químico abierto, consistente en sólo un componente Q, con entrada continua de materia y eliminación de los productos de reacción resultantes. Sea E la cantidad de material reaccionante importada por unidad

de tiempo, y k la constante de reacción de acuerdo con la ley de acción de masas; por lo tanto, kQ es el grado de cambio por unidad de tiempo; suponiendo que la cantidad importada al principio sea mayor que la transformada, la concentración en el sistema aumentará de acuerdo con la ecuación:

$$\frac{dQ}{dt} = E - kQ. \tag{5.2}$$

Según se ve fácilmente, éste es un caso especial de la ecuación general (5.1). Como se supuso importación constante y salida correspondiente a la reacción química, se descuidaron los gradientes de difusión y concentración (se supuso, por así decirlo, perfecta «agitación» del sistema), y las coordenadas espaciales de (5.1) desaparecieron; en lugar de una ecuación diferencial parcial, tenemos una ordinaria. Entonces la concentración en el tiempo t es:

$$Q = \frac{E}{k} - \left(\frac{E}{k} - Q_0\right) e^{-kt}, \tag{5.3}$$

donde Q_0 es la concentración inicial cuando $t = 0$. O sea que la concentración aumenta asintóticamente hasta cierto límite, en el cual el ciclo de renovación es igual al insumo (supuesto constante).

Esta concentración máxima es $Q_\infty = E/k$.

Un sistema más próximo a las condiciones biológicas es el siguiente. Sea el transporte de materia a_1 hacia adentro del sistema proporcional a la diferencia entre su concentración fuera y dentro del sistema $(X - x_1)$. Biológicamente, pensemos en azúcares simples o en aminoácidos. El material importado a_1 forma, por una reacción monomolecular y reversible, un compuesto a_2 de concentración x_2 (p. ej. monosacáridos transformados en polisacáridos, aminoácidos en proteínas). Por otra parte, la sustancia a_1 es catabolizable según una reacción irreversible (p. ej. oxidación, desaminación) que da a_3, y a_3 se separa del sistema, en grado proporcional a su concentración. Tenemos entonces el siguiente sistema de reacciones:

$$X \xrightarrow{K_1} x_1 \overset{k_1}{\rightleftarrows} x_2$$

$$k_3 \;\Big\downarrow\; k_2$$

$$x_3$$

$$k_2 \downarrow$$

exterior

y las ecuaciones:

$$\frac{dx_1}{dt} = K_1\ (X - x_1) - k_1x_1 + k_2x_2 - k_3x_1 =$$

$$= x_1\ (-K_1 - k_1 - k_3) + k_2x_2 + K_1X$$

$$\frac{dx_2}{dt} = k_1x_1 - k_2x_2 \tag{5.4}$$

$$\frac{dx_3}{dt} = k_3x_1 - K_2x_3.$$

Para eliminar la constante de la primera ecuación, iguálese a 0; sean x_1^*, x_2^*..., las raíces de estas ecuaciones. Introducimos como nuevas variables:

$$x_1' = x_1^* - x_1... \tag{5.5}$$

y reformulamos (5.4) de acuerdo con ello.

El tipo general de tales ecuaciones es:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx_1'}{dt} &= a_{11}x_1' + a_{12}x_2' + ... + a_{1n}x_n' \\ \frac{dx_2'}{dt} &= a_{21}x_1' + a_{22}x_2' + ... + a_{2n}x_n' \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{dx_n'}{dt} &= a_{n1}x_1' + a_{n2}x_2' + ... + a_{nn}x_n' \end{aligned}\right\} \tag{5.6}$$

con la solución general (cf. p. 58):

$$\left.\begin{aligned} x_1' &= C_{11}e^{\lambda_1 t} + C_{12}e^{\lambda_2 t} + ...\ C_{1n}e^{\lambda_n t} \\ x_2' &= C_{21}e^{\lambda_1 t} + C_{22}e^{\lambda_2 t} + ...\ C_{2n}e^{\lambda_n t} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ x_n' &= C_{n1}e^{\lambda_1 t} + C_{n2}e^{\lambda_2 t} + ...\ C_{nn}e^{\lambda_n t} \end{aligned}\right\} \tag{5.7}$$

Los valores de λ son dados por la ecuación característica:

$$\begin{vmatrix} a_{11}-\lambda & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}-\lambda & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn}-\lambda \end{vmatrix} = 0 \qquad (5.8)$$

Consideremos ahora la sección transversal temporal, o sea la distribución de componentes en el estado uniforme, independiente del tiempo.

En general, un sistema definido por la ecuación (5.1) tiene tres soluciones diferentes. Primero, puede haber aumento ilimitado de las Q_i; segundo, puede alcanzarse un estado uniforme independiente del tiempo; tercero, pueden darse soluciones periódicas.

Es difícil probar la existencia de un estado uniforme para el sistema general (5.1), pero puede mostrarse en ciertos casos. Supóngase que ambos términos son lineales en las Q_i e independientes de t. Entonces la solución se obtiene por medios ordinarios de integración y es de la forma:

$$Q_i = Q_{i1}\ (x, y, z) + Q_{i2}\ (x, y, z, t), \qquad (5.9)$$

donde Q_{i2} es una función de t que, al crecer el tiempo, decrece hasta cero, para ciertas relaciones entre constantes y condiciones limitantes.

Por otra parte, si hay un estado uniforme independiente del tiempo expresado por Q_{i1} en (5.9), Q_{i1} debe bastar para la ecuación independiente del tiempo:

$$T_i + P_i = 0 \qquad (5.10)$$

Partiendo de esto vemos que:

1) Si hay una solución estacionaria, la composición del sistema en estado uniforme permanece constante con respecto a los componentes Q_i, aunque las reacciones continúen y no lleguen a equilibrio, como en un sistema cerrado, y aunque haya entrada y salida de materia; la situación es muy característica de los sistemas organísmicos.

2) En el caso uniforme, el número de elementos que entran en el estado $Q_i\ (x, y, z, t)$ por transporte y reacción química por unidad de tiempo es igual al número que sale de él.

Pueden hacerse consideraciones parecidas con respecto a las soluciones periódicas. Es verdad que la anterior derivación presupone cosas bastante especiales a propósito de las ecuaciones. No obstante, aunque no se conoce criterio general para la existencia de soluciones estacionarias y periódicas en el sistema (5.1), pueden indicarse condiciones para algunos tipos de casos lineales y hasta no lineales. Es importante para nosotros el hecho de que la existencia de «equilibrios» dinámicos estacionarios en sistemas abiertos o, como también podríamos decir, la existencia de cierto orden de procesos garantizados por principios dinámicos, y no estructural-mecánicos, sea derivable a partir de consideraciones generales.

Resolviendo las ecuaciones (5.4) para el estado uniforme obtenemos:

$$x_1 : x_2 : x_3 = 1 : \frac{k_1}{k_2} : \frac{k_3}{K_2}.$$

Vemos, pues, que en el estado uniforme se establece una razón constante entre los componentes, aunque no se base en un equilibrio de reacciones reversibles, como en un sistema cerrado, sino que las reacciones sean en parte irreversibles. Más aun, la razón entre componentes en el estado uniforme depende sólo de las constantes reaccionales, no de la cantidad de importación; así, el sistema muestra «autorregulación» comparable al caso de los sistemas organísmicos, donde la razón entre componentes es mantenida modificando la entrada de materia, cambiando las dimensiones absolutas, etc.

Encontramos asimismo que:

$$x_1^* = \frac{K_1 X}{K_1 + k_3}.$$

En caso de que una perturbación externa («estímulo») conduzca a catabolismo incrementado —es decir, a incremento de la constante cinética k_3 mientras las demás persisten inalteradas—, x_1 disminuye. Pero como el transporte hacia adentro es proporcional a la diferencia de concentraciones $X - x_1$, al aumentar ésta aumenta también la entrada. Si después del «estímulo» retorna la constante de catabolismo a su valor normal, el sistema regresará al estado original. Pero si persiste la perturbación y con ello el cambio de ritmo catabólico, se establecerá un nuevo estado uniforme. De manera que el sistema genera fuerzas dirigidas contra la perturbación, ten-

dientes a compensar el catabolismo incrementado por medio de incremento en la incorporación. Exhibe, entonces, «adaptación» a la nueva situación. Siguen, pues, las características «autorreguladoras» del sistema.

Se ve, pues, que las propiedades señaladas como características de los sistemas organísmicos son consecuencias de la naturaleza de los sistemas abiertos: mantenimiento en «equilibrio dinámico», independencia de la composición con respecto a la cantidad absoluta de componentes, conservación de la composición bajo condiciones y nutrición cambiantes, restablecimiento de equilibrio dinámico luego de catabolismo normal o de catabolismo inducido por un estímulo, orden dinámico de procesos, etc. La «autorregulación del metabolismo» se torna comprensible sobre la base de principios físicos.

Equifinalidad

Una importante característica de los sistemas biológicos se encierra en términos como «intencionalidad», «finalidad», «persecución de metas», etc. Veamos si consideraciones físicas pueden contribuir a aclarar estos términos.

Se ha subrayado a menudo que todo sistema que alcanza un equilibrio muestra, en cierto modo, comportamiento «finalista», según discutimos atrás (pp. 77 *ss*).

Más importante es la siguiente consideración. Se han hecho frecuentes intentos de comprender las regulaciones orgánicas como establecimiento de un «equilibrio» (de naturaleza complicadísima, ni que decir tiene) (p. ej. Köhler, 1927), de aplicar principios como el de Le Chatelier. No estamos en condiciones de definir semejante «estado de equilibrio» en procesos orgánicos complicados, pero es fácil ver que tal concepción es inadecuada en principio. Pues, aparte de algunos procesos particulares, los sistemas vivos no son sistemas cerrados en verdadero equilibrio, sino sistemas abiertos en estado uniforme.

Ahora bien, los estados uniformes en sistemas abiertos tienen notables características.

Un aspecto muy típico del orden dinámico en los procesos organísmicos puede denominarse *equifinalidad*. Los procesos que acontecen en estructuras como de máquina siguen un camino fijo. Así, el estado final cambiará si se alteran las condiciones iniciales o el curso de los procesos. En contraste, puede alcanzarse el mismo

estado final, la misma «meta», partiendo de diferentes condiciones iniciales y siguiendo distintos itinerarios en los procesos organísmicos. Son ejemplos el desenvolvimiento de un organismo normal a partir de un zigoto entero, dividido o formado por fusión de dos, o partiendo de pedazos, como en los hidroides y las planarias; o la llegada a un tamaño final definido a partir de distintos tamaños iniciales y después de itinerarios de crecimiento diferentes, etc.

Podemos definir:

Un sistema de elementos $Q_i\ (x, y, z, t)$ es equifinal en cualquier subsistema de elementos Q_j si las condiciones iniciales $Q_{i0}\ (x, y, z)$ pueden cambiarse sin cambiar el valor de $Q_j\ (x, y, z, \infty)$.

Estipulemos dos interesantes teoremas:

(1) Si existe una solución de la forma (5.9), las condiciones iniciales no intervienen en la solución para el estado uniforme. Esto significa que *si los sistemas abiertos* (del tipo discutido) alcanzan un estado uniforme, éste tiene *un valor equifinal o independiente de las condiciones iniciales.* Es difícil una prueba general, vista la carencia de criterios generales para la existencia de estos uniformes, pero la prueba es posible en casos especiales.

(2) En un sistema cerrado, alguna función de los elementos —p. ej., la masa o la energía totales— es por definición una constante. Considérese una integral del sistema $M(Q_i)$. Si las condiciones iniciales de Q_i son dadas por Q_{i0}, debemos tener:

$$M(Q_i) = M(Q_{i0}) = M, \tag{5.11}$$

independiente de t. Si las Q_i tienden hacia un valor asintótico Q_{i1},

$$M(Q_{i1}) = M \tag{5.12}$$

M no puede ser enteramente independiente de Q_{i0} al cambiar Q_{i0} se alteran también M y por tanto $M(Q_{i1})$. Si esta integral cambia de valor, tendrán que cambiar al menos algunas Q_{i1}. Ahora bien, esto es contrario a la definición de equifinalidad. Enunciemos entonces el teorema: *un sistema cerrado no puede ser equifinal con respecto a todas las* Q_i.

Por ejemplo, en el caso más sencillo de un sistema químico abierto de acuerdo con la ecuación (5.2), la concentración en el tiempo t es dada por (5.3); para $t = \infty$, $Q = E/k$, o sea que es independiente de la concentración Q_0 y dependiente sólo de las

constantes del sistema, E y k. Rashevsky (1938, capítulo I) es autor de una derivación de la equifinalidad —de la llegada a un estado uniforme independiente del tiempo y las condiciones iniciales— en sistemas de difusión.

Por supuesto, la consideración especial no ofrece explicación para fenómenos específicos, a menos que conozcamos las condiciones epeciales. Con todo, la formulación general no carece de interés. Vemos, primero, que es posible dar una formulación física al concepto en apariencia metafísico o vitalista de finalidad; como es bien sabido, el fenómeno de la equifinalidad es fundamento de las pretendidas «pruebas» del vitalismo de Driesch. En segundo lugar, apreciamos la estrecha relación entre una característica fundamental del organismo —el hecho de que no sea un sistema cerrado en equilibrio termodinámico sino un sistema abierto en estado (cuasi) estacionario— y otra, que es la equifinalidad*.

Un problema no considerado aquí es el de la dependencia de un sistema no sólo con respecto a condiciones actuales sino a condiciones pasadas y al curso seguido en el pasado. Se trata de los fenómenos llamados «hereditarios» (en sentido matemático: E. Picard) o «históricos» (Volterra) (cf. D'Ancona, 1939, capítulo XXII). A esta categoría pertenecen fenómenos de histéresis en elasticidad, electricidad, magnetismo, etc. Tomando en consideración la dependencia con respecto al pasado, nuestras ecuaciones se convertirían en íntegro-diferenciales, como las discutidas por Volterra (cf. D'Ancona) y Donnan (1937).

Aplicaciones biológicas

Será evidente a estas alturas que muchas características de los sistemas organísmicos, consideradas a menudo vitalistas o místicas, son derivables del concepto de sistema y de las características de

* Las limitaciones de la regulación organísmica se basan en el hecho de que el organismo (ontogenética tanto como filogenéticamente) pasa del estado de un *sistema* de elementos dinámicamente interactuantes al estado de «mecanismos» estructurales y cadenas causales diversas (cf. pp. 70*ss*). Si los componentes se hacen independientes unos de otros, el cambio en cada uno depende sólo de las condiciones en tal componente. El cambio o la supresión de un componente debe causar un estado final diferente del normal; la regulación es imposible en un sistema completamente «mecanizado», que se desintegra en cadenas causales mutuamente independientes (salvo por el control por mecanismos de retroalimentación, cf. pp. 43*ss*, y otras partes).

unas cuantas ecuaciones de sistemas muy generales, asociadas a consideraciones termodinámicas o mecánico-estadísticas.

Si el organismo es un sistema abierto, los principios generalmente aplicables a este género *deben* serle aplicables (mantenimiento en cambio, orden dinámico de procesos, equifinalidad, etc.), sin importar nada la naturaleza de las relaciones y procesos, tan complicados, por supuesto, que se dan entre los componentes.

Por supuesto, semejante consideración general no explica fenómenos vitales determinados. Los principios discutidos, sin embargo, proporcionarán un marco o esquema general, que dará cabida a teorías cuantitativas de fenómenos vitales específicos. En otros términos, deben resultar teorías de fenómenos biológicos determinados como casos especiales de nuestras ecuaciones generales. Sin aspirar a ser completos, unos cuentos ejemplos mostrarán de qué modo la concepción del organismo como sistema químico abierto y en estado uniforme ha demostrado ser una eficaz hipótesis de trabajo en varios campos.

Rashevsky (1938) investigó, como modelo teórico simplificadísimo de una célula, el comportamiento de una gotita metabolizante, a la cual se difundieran sustancias desde fuera, dentro de la cual sufrieran reacciones químicas y de la cual escaparan productos de reacción. Esta consideración de un caso sencillo de sistema abierto (cuyas ecuaciones son casos especiales de nuestra ecuación 5.1) permite la deducción matemática de una serie de características siempre consideradas fenómenos vitales esenciales. Para semejantes sistemas resulta un orden de magnitud correspondiente al de las células reales, su crecimiento y su división periódica, la imposibilidad de generación espontánea *(omnis cellula a cellula)*, características generales de la división celular, etc.

Oterhout (1932-33) aplicó, y elaboró cuantitativamente, la consideración según sistemas abiertos de fenómenos de permeabilidad. Estudió la permeación en modelos celulares consistentes en una capa no acuosa entre un medio acuoso externo y otro interno (correspondiente este último al jugo celular). Hay una acumulación de sustancias penetrantes dentro de esta célula, lo cual se explica por salificación de la sustancia penetrante. El resultado no es un equilibrio sino un estado uniforme, en el cual la composición del jugo celular permanece constante mientras incrementa el volumen. Este modelo se parece al mencionado en la p. 131. Fueron derivadas

expresiones matemáticas, y la cinética de este modelo es análoga a la que se da en las células vivas.

Los sistemas abiertos y los estados uniformes en general desempeñan un papel fundamental en el metabolismo, si bien sólo ha sido posible la formulación matemática en casos o modelos sencillos. Por ej., la continuación de la digestión sólo es posible en virtud de la continua resorción de los productos de la acción enzimática por el intestino; así, jamás se alcanza un estado de equilibrio. En otros casos la acumulación de productos de reacción puede hacer que se detenga la reacción, lo cual explica algunos procesos de regulación (cf. von Bertalanffy, 1932, p. 191). Esto es válido a propósito del uso de materiales de depósito: la descomposición del almidón depositado en el endospermo de muchas semillas vegetales, dando productos solubles, es regulada por la necesidad de carbohidratos que tiene la planta en crecimiento; si el desarrollo es inhíbido experimentalmente, se detiene el aprovechamiento de almidón del endospermo. Pfeffer y Hansteen (citados por Höber, 1926, p. 870) mostraron que es probable que la acumulación de azúcar originado en la digestión del almidón y no aprovechado por la plántula inhibida sea responsable de la interrupción de la degradación del almidón en el endospermo. Si se aísla el endospermo y se conecta con una pequeña columna de yeso, la degradación del almidón sigue adelante, si el azúcar se difunde, pasando por el yeso, hasta cierta cantidad de agua, pero se inhibe si se pone la columna en poca agua, de suerte que la concentración de azúcar inhiba la hidrólisis.

Un campo en el cual ya es posible formular procesos en forma de ecuaciones es la teoría del crecimiento. Puede suponerse (von Bertalanffy, 1934) que el crecimiento se basa en la acción encontrada de procesos anabólicos y catabólicos. El organismo crece cuando la formación sobrepasa a la degradación, y se detiene cuando se equilibran ambos procesos. También puede suponerse que, en muchos organismos, el catabolismo es proporcional al volumen (peso) y el anabolismo es proporcional a la resorción, ejercida por una superficie. Esta hipótesis es apoyada por múltiples argumentos morfológicos y fisiológicos y, en casos sencillos como el de las planarias, llega a verificarse en parte merced a mediciones de la superficie intestinal (von Bertalanffy, 1940b). Si $\varkappa$ es una constante del catabolismo por unidad de masa, el catabolismo total será $\varkappa w$ (donde $w =$ peso); análogamente, con η como constante por unidad de

superficie, el anabolismo será ηs, y el aumento de peso quedará definido por la diferencia entre estas magnitudes:

$$\frac{dw}{dt} = \eta s - \varkappa w. \tag{5.13}$$

A partir de esta ecuación fundamental es posible derivar expresiones que representen cuantitativamente las curvas empíricas de crecimiento y expliquen considerable número de fenómenos en este terreno. En casos muy sencillos, estas leyes del crecimiento son seguidas con la exactitud acostumbrada en los experimentos físicos. Además, el ritmo de catabolismo es calculable a partir de las curvas de crecimiento, y comparando los valores así calculados con los directamente determinados en experiencias fisiológicas se halla excelente acuerdo. Lo cual tiende a mostrar, primero, que los parámetros de las ecuaciones no son entidades matemáticamente construidas sino realidades fisiológicas; en segundo lugar, que la teoría da razón de los procesos básicos del crecimiento (cf. capítulo VII).

Este ejemplo ilustra bien el principio de la equifinalidad que antes discutimos. A partir de (5.13) se sigue, para el incremento de peso:

$$w = \left[\frac{E}{k} - \left(\frac{E}{k} - \sqrt[3]{w_0}\right) e^{-kt}\right]^3, \tag{5.14}$$

donde E y k son constantes relacionadas con η y $\varkappa$, y donde w_0 es el peso inicial. El peso final estacionario es dado por $w^* = (E/k)^3$ y es, así, independiente del peso inicial. Esto también se demuestra experimentalmente, ya que el mismo peso final, definido por las constantes E y k, determinadas para cada especie, es alcanzable después de una curva de crecimiento enteramente diferente de la normal (cf. von Bertalanffy, 1934).

Es claro que esta teoría del crecimiento se sigue de las concepciones tocantes a la cinética en sistemas abiertos; la ecuación (5.13) es un caso especial de la ecuación general (5.1). La característica básica del organismo, su representación de un sistema abierto, es tenida por principio del crecimiento organísmico.

Otro campo en el que ha resultado fecundo este concepto es el del fenómeno de la excitación. Hering fue el primero que consideró los fenómenos de irritabilidad como perturbaciones reversibles del

fluir estacionario en los procesos organísmicos. En estado de reposo se compensan la asimilación y la disimilación; un estímulo provoca incremento en la disimilación, pero al descender la cantidad de sustancias descomponibles se acelera el proceso asimilador contrarrestante, hasta que se alcanza un nuevo estado uniforme entre la asimilación y la disimilación. Esta teoría ha demostrado ser extremadamente fecunda. La teoría de Pütter (1918-20), llevada adelante por Hecht (1931), considera la formación de sustancias excitantes a partir de sustancias sensibles (p. ej., la púrpura visual en los bastones del ojo de los vertebrados) y su desaparición como base de la excitación. Partiendo de las acciones encontradas de estos procesos, producción y eliminación de sustancias excitantes, se logran derivar las relaciones cuantitativas de la excitación sensoria, con base en la cinética química y la ley de acción de masas: fenómenos de umbral, adaptación a la luz y a la oscuridad, discriminación de intensidades, la Ley de Weber y sus limitaciones, etc. Una hipótesis semejante sobre las sustancias excitantes e inhibidoras y sobre un mecanismo de disimilación influido por estímulos constituye el fundamento de la teoría de Rashevsky (1938) de la excitación nerviosa por estímulos eléctricos, formalmente idéntica a la teoría de la excitación de Hill (1936). La teoría de las sustancias excitantes no se limita a los órganos de los sentidos y al sistema nervioso periférico, sino que se aplica también a la transmisión de la excitación de una neurona a otra por las sinapsis. Sin entrar en la cuestión, aún no decidida, de una teoría química o eléctrica de la transmisión en el sistema nervioso central, diremos que la primera explica muchos de los rasgos esenciales de éste, comparado con el nervio periférico, así la irreciprocidad de la conducción, el retardo de la transmisión en el sistema nervioso central, la suma y la inhibición; también aquí son posibles formulaciones cuantitativas. Por ej., Lapicque desarrolló una teoría matemática de la suma en el sistema nervioso central; de acuerdo con Umrath, es interpretable por la producción y la desaparición de sustancias excitantes.

Podemos decir, pues, primero, que las vastas áreas del metabolismo, el crecimiento, la excitación, etc., empiezan a fundirse en un campo teórico total, bajo la guía del concepto de sistema abierto; luego, que gran número de problemas y posibles formulaciones cuantitativas se desprenden del concepto.

A propósito de los fenómenos de excitación hay que mencionar que el concepto también tiene importancia para problemas farmaco-

lógicos. Loewe (1928) aplicó el concepto de organismo como sistema abierto al análisis cuantitativo de efectos farmacológicos y derivó las relaciones cuantitativas para el mecanismo de acción de algunos medicamentos (sistemas de «adición», «descenso», «bloqueo»).

Por último, problemas similares a los discutidos con respecto al organismo individual se presentan también a propósito de entidades supraindividuales que, entre vida y muerte, inmigración y emigración continuas, representan sistemas abiertos de naturaleza superior. De hecho, las ecuaciones deducidas por Volterra para la dinámica de poblaciones, las biocenosis, etc. (cf. D'Ancona, 1939), pertenecen al tipo general discutido arriba.

En conclusión, puede afirmarse que la consideración de fenómenos organísmicos según la concepción discutida, de la cual se expusieron algunos principios generales, ya ha demostrado su importancia en la explicación de fenómenos específicos de la vida.

VI. El modelo del sistema abierto

La máquina viviente y sus limitaciones

La presente discusión se iniciará con una de esas preguntas triviales que con harta frecuencia son demasiado difíciles de responder científicamente: ¿cuál es la diferencia entre un organismo normal, uno enfermo y uno muerto? Desde el punto de vista de la física y la química, la respuesta vendrá a ser que la diferencia no es definible sobre la base de la llamada teoría mecanicista. Hablando en términos de física y química, un organismo vivo es un agregado de gran número de procesos que, suponiendo suficiente esfuerzo y conocimiento, es definible mediante fórmulas químicas, ecuaciones matemáticas y leyes de la naturaleza. Es cierto que tales procesos difieren en un perro sano, uno enfermo y otro muerto, pero las leyes de la física no sacan a la luz diferencia alguna, no les interesa que los perros vivan o mueran. Nada cambia aunque tomemos en consideración los últimos resultados de la biología molecular. Una molécula de DNA, proteína o enzima, o un proceso hormonal, vale tanto como otra u otro; cada cual está determinado por leyes físicas y químicas, no hay molécula o proceso mejor, más saludable o normal que otro.

No obstante, existe una diferencia fundamental entre un organismo vivo y uno muerto; de ordinario no tenemos la menor dificultad en distinguir un organismo viviente y un objeto inerte. En un ser vivo hay innumerables procesos químicos y físicos «ordenados» de tal manera que permiten al sistema vivo persistir, crecer, desarrollarse, reproducirse, etc. Pero ¿qué significa esa noción de «orden»,

que buscaríamos en vano en un texto de física? A fin de explicarlo y definirlo necesitamos un modelo, una construcción conceptual. Un modelo así vino utilizándose desde los comienzos de la ciencia moderna. Era el modelo de la máquina viva. De acuerdo con el estado de arte, el modelo era objeto de diferentes interpretaciones. Cuando en el siglo XVII Descartes introdujo el concepto del animal como una máquina, sólo existían *máquinas mecánicas*, de modo que el animal era un complicado artefacto de relojería. Borelli, Harvey y otros de los llamados iatrofísicos examinaron las funciones de los músculos, del corazón, etc., mediante modelos mecánicos de palancas, bombas y así por el estilo. Todavía se asiste a esto en la ópera: en *Los cuentos de Hoffmann*, la bella Olimpia resulta ser una muñeca construida con maña, un autómata, como se decía entonces. Más tarde aparecieron la máquina de vapor y la termodinámica, lo cual hizo que el organismo fuese concebido como una *máquina térmica*, noción que llevó a cálculos calóricos y a otras cosas. Sin embargo, el organismo no es una máquina térmica que transforme la energía del combustible en calor y luego en energía mecánica. Es, más bien, una *máquina quimiodinámica*, que transforma directamente la energía del combustible en trabajo efectivo, hecho en el cual se funda, p. ej., la teoría de la acción muscular. Últimamente se han puesto en primer plano máquinas que se autorregulan, termostatos, proyectiles que buscan el blanco y los servomecanismos de la tecnología moderna. Con ello el organismo pasó a ser una *máquina cibernética* que explica muchos fenómenos homeostáticos y similares. El paso más reciente alude a *máquinas moleculares*. Cuando se habla de la «fábrica» del ciclo de oxidación de Krebs, o de las mitocondrias como «plantas de energía» de la célula, se quiere decir que estructuras como máquinas determinan en nivel molecular el orden de las reacciones enzimáticas; análogamente, es una micromáquina la que transforma o traduce el código genético del DNA cromosómico a proteínas específicas y a fin de cuentas a un organismo complejo.

A pesar de su éxito, el modelo del organismo como una máquina tiene sus dificultades y sus limitaciones.

Está, ante todo, el problema del *origen de la máquina*. El viejo Descartes no tropezaba aquí con problema alguno, pues su máquina animal era creación de un divino relojero. Pero ¿de dónde salen las máquinas en un universo de acontecimientos fisicoquímicos no dirigidos? En la naturaleza no se dan espontáneamente relojes,

máquinas de vapor y transistores. ¿De dónde vienen las máquinas vivientes, infinitamente más complicadas? Conocemos, claro está, la explicación darwiniana, pero sigue en pie una duda, particularmente en quienes tienen mente física; perduran cuestiones que no acostumbran ser planteadas ni contestadas en los textos de evolución.

En segundo lugar, tenemos el problema de la *regulación*. Sin duda, son concebibles máquinas que se autorreparen en términos de là moderna teoría de los autómatas. El problema se presenta con la reparación y la regulación después de perturbaciones arbitrarias. ¿Puede una máquina —un embrión, digamos, o un cerebro— estar programada para la regulación no después de determinada perturbación o conjunto finito de perturbaciones, sino después de perturbaciones en número indefinido? La llamada máquina de Turing puede, en principio, resolver aun el proceso más complejo en etapas que, si son finitas en número, son reproducibles por un autómata. Sin embargo, acaso el número de etapas no sea ni finito ni infinito sino «inmenso», o sea superior al número de partículas o de acontecimientos posibles en el universo. ¿Dónde queda el organismo como máquina o autómata? Es bien sabido que los vitalistas recurrieron a tales regulaciones orgánicas como pruebas de que la máquina orgánica es controlada y reparada por agentes suprafísicos, a los que se llamaba entelequias.

Todavía más importante es otra tercera cuestión. El organismo vivo es mantenido en continuo *intercambio de componentes;* el metabolismo es una característica básica de los sistemas vivientes. Estamos, como si dijéramos, ante una máquina compuesta de combustible que continuamente se consume y, sin embargo, aquélla se preserva. No hay máquinas así en la tecnología de hoy. En otras palabras: una estructura del organismo como máquina no puede ser la razón última del orden de los procesos vitales porque la máquina misma es mantenida en un fluir ordenado de procesos. Por lo tanto, el orden primario tiene que residir en el proceso mismo.

Algunas características de los sistemas abiertos

Expresamos esto diciendo que los sistemas vivos son básicamente sistemas abiertos (Burton, 1939; von Bertalanffy, 1940a; capítulo v). Un sistema abierto es definido como sistema que intercambia materia con el medio circundante, que exhibe importación y exportación, constitución y degradación de sus componentes materiales.

Hasta una época comparativamente reciente, la fisicoquímica, en la cinética y la termodinámica, estaba restringida a sistemas cerrados; la teoría de los sistemas abiertos es relativamente nueva y tiene muchos problemas pendientes. El desarrollo de la teoria cinética de los sistemas abiertos deriva de dos fuentes: primero, la biofisica del organismo vivo; segundo, adelantos de la química industrial que, a más de reacciones en recipientes cerrados o «procesos por lotes», recurre cada vez más a sistemas de reacción continua, a causa de su mayor eficiencia y de otras ventajas. La teoría termodinámica de los sistemas abiertos es la llamada termodinámica irreversible (Meixner y Reik, 1959); llegó a ser una importante generalización de la teoría física gracias a los trabajos de Meixner, Onsager, Prigogine y otros.

Incluso sistemas abiertos sencillos tienen notables características (capítulo v). En determinadas condiciones, los sistemas abiertos se aproximan a un estado independiente del tiempo, el llamado estado uniforme (*Fliessgleichgewicht* según von Bertalanffy, 1942). El estado uniforme es mantenido separado del equilibrio verdadero y así está en condiciones de realizar trabajo; tal es el caso también de los sistemas vivos, en contraste con los sistemas en equilibrio. El sistema permanece constante en composición, pese a continuos procesos irreversibles, importación y exportación, constitución y degradación. El estado uniforme exhibe notables características de regulación, evidentes en particular por el lado de la equifinalidad. Si se alcanza un estado uniforme en un sistema abierto, es independiente de las condiciones iniciales, y determinado sólo por los parámetros del sistema, a saber, las velocidades de reacción y de transporte. Esto se llama *equifinalidad* y aparece en muchos procesos organísmicos, como el crecimiento (Fig. 6.1). En contraste con los sistemas fisicoquímicos cerrados, se alcanza, pues, el mismo estado final, equifinalmente, a partir de diferentes condiciones iniciales y luego de perturbaciones del proceso. Además, el estado de equilibrio químico es independiente de catalizadores que aceleren el proceso. El estado uniforme, en contraste, depende de los catalizadores presentes y de sus constantes cinéticas. En sistemas abiertos pueden darse fenómenos de exceso y de arranque en falso (Fig. 6.2), en los que el sistema empieza por proceder en dirección opuesta a la que a fin de cuentas conducirá al estado uniforme. A la inversa, fenómenos de exceso y arranque en falso como los que tan a

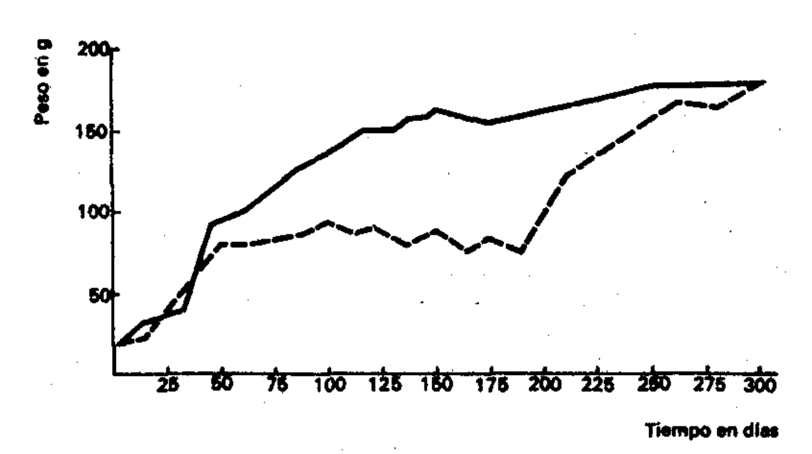


Fig. 6.1. Equifinalidad del crecimiento. Curva continua: crecimiento normal de ratas. Curva de trazos: a los 50 días, el crecimiento fue interrumpido por deficiencia vitamínica. Luego de ser restablecido el régimen normal, los animales alcanzaron el peso final normal. (Según Höber, de von Bertalanffy, 1960b.)

menudo se encuentran en fisiología con señales de que estamos ante procesos que se dan en sistemas abiertos.

Desde el punto de vista de la termodinámica, los sistemas abiertos consiguen mantenerse en un estado de alta improbabilidad estadística en orden y organización.

De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la tendencia general de los procesos físicos apunta a la entropía creciente, es decir, a estados de creciente probabilidad y orden decreciente. Los sistemas vivos se mantienen en un estado de alto orden e improbabilidad, o incluso evolucionan hacia diferenciación y organización crecientes, como ocurre en el desarrollo y la evolución organísmicos. La razón aparece en la función entrópica expandida de Prigogine. En un sistema cerrado la entropía siempre aumenta de acuerdo con la ecuación de Clausius:

$$dS \geqslant 0 \tag{6.1}$$

En contraste, en un sistema abierto el cambio total en la entropía puede escribirse según Prigogine:

$$dS = d_eS + d_iS \tag{6.2}$$

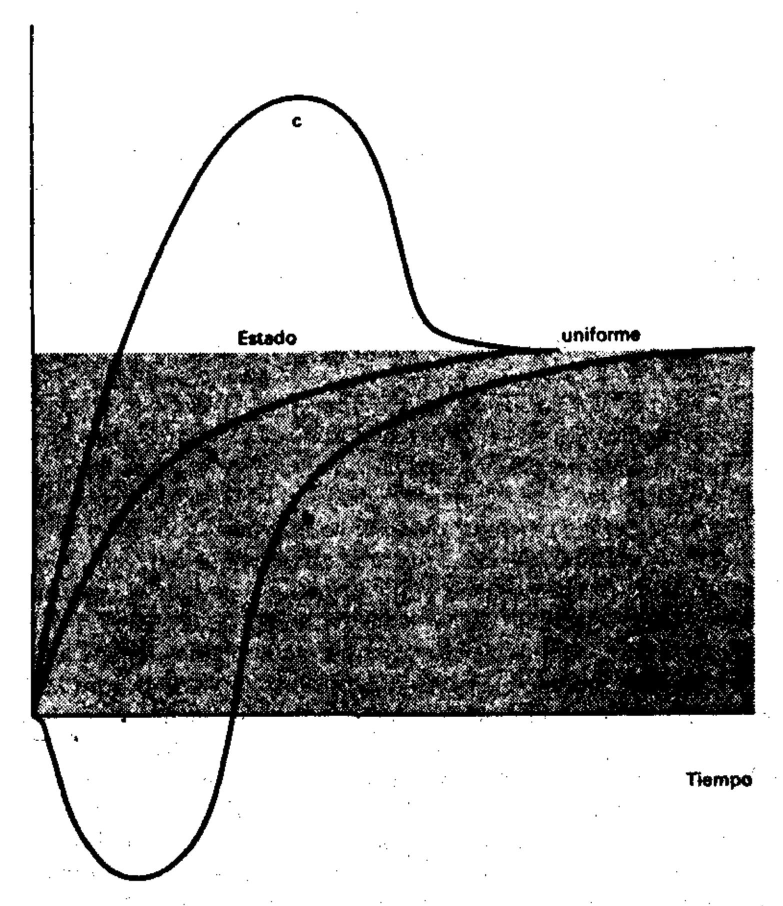


Fig. 6.2. *a)* Aproximación asintótica al estado uniforme. *b)* Arranque en falso. *c)* Exceso, en sistemas abiertos. Esquemático.

donde d_eS denota el cambio de entropía por importación, d_iS la producción de entropía debida a procesos irreversibles en el sistema, tales como reacciones químicas, difusión, transporte de calor, etc. El término d_iS es siempre positivo, de acuerdo con el segundo principio; d_eS, el transporte entrópico, puede ser positivo y negativo, y el segundo caso se da, p. ej., por importación de materia portadora potencial de energía libre o «entropía negativa». Tal es la base de la propensión neguentrópica de los sistemas organísmicos, y

de la afirmación de Schrödinger: «el organismo se alimenta de entropía negativa».

Burton, Rashevsky, Hearon, Reiner, Denbigh y otros autores han elaborado y analizado modelos más complejos de sistemas abiertos, que se aproximan a los problemas biológicos. En años recientes ha sido ampliamente aplicada la computerización para resolver conjuntos de numerosas ecuaciones simultáneas (frecuentemente no lineales) (p. ej., Franks, 1967; B. Hess y otros) y para la *simulación* de procesos complejos en sistema abierto, en problemas fisiológicos (p. ej. Zerbst y colaboradores, 1963 y otros trabajos). La *teoría de los compartimientos* (Rescigno y Segre, 1967; Locker, 1966b) suministra métodos sutiles para los casos en que las reacciones no se realizan en un espacio homogéneo sino en subsistemas parcialmente permeables a los compuestos reaccionantes, como pasa en sistemas industriales y, evidentemente, con muchos procesos en la célula.

Como se ve, los sistemas abiertos, comparados con los sistemas cerrados acostumbrados, exhiben características que parecen contradecir las leyes físicas usuales, y que a menudo se han considerado características vitalistas de la vida; violaciones de leyes físicas, sólo explicables introduciendo factores animoides o entelequicos en el acontecer orgánico. Esto es cierto a propósito de la equifinalidad de las regulaciones orgánicas, si, p. ej., se alcanza la misma «meta», un organismo normal, a partir de un zigoto, de medio, o de dos fundidos, etc. A decir verdad, ésta era la más importante «prueba del vitalismo» según Driesch. Similarmente, la aparente contradicción entre la tendencia a la entropía creciente y al desorden en la naturaleza física, y la tendencia neguentrópica en el desarrollo y la evolución, fue muy usada en favor del vitalismo. Las aparentes contradicciones desaparecen gracias a la expansión y generalización de la teoría física a los sistemas abiertos.

Los sistemas abiertos en biología

El modelo de los sistemas abiertos es aplicable a muchos problemas y campos de la biología (Beier, 1962, 1965; Locker *et al.*, 1964, 1966a). Hace años (von Bertalanffy, 1953a) apareció un resumen de la biofísica de los sistemas abiertos, incluyendo los fundamentos teóricos y las aplicaciones; está en preparación una edición

revisada (con W. Beier, R. Laue y A. Locker). El presente repaso se restringe a algunos ejemplos representativos.

Tenemos, ante todo, el vasto campo del *stirb und werde* goethiano, la desintegración y regeneración continuas, la estructura dinámica de los sistemas vivientes en todos los niveles de organización (Cuadros 6.1-6.3). Puede decirse, a grandes rasgos, que esta regeneración acontece con ritmos de renovación muy superiores a los previstos. P. ej., es de fijo sorprendente que el cálculo sobre la base de un sistema abierto revele que las proteínas del cuerpo humano tienen un ritmo de renovación no muy superior a los cien días. Más o menos lo mismo vale para células y tejidos. Muchos tejidos del organismo adulto se mantienen en estado uniforme, se pierden continuamente células por descamación, y son reemplazadas por mitosis (F. D. Bertalanffy y Lau, 1962). Técnicas como la aplicación de colquicina, que detiene la mitosis y así permite el recuento de células en división durante ciertos períodos, como también el

Cuadro 6.1

Ritmos de renovación de productos intermedios del metabolismo celular. (Según B. Hess, 1963.)

Estructura	*Especie*	*Organo*	*Tiempo de renovación en segundos*
Mitocondrias	Ratón	Hígado	1.3×10^6
Hemoglobina	Hombre	Eritrocitos	1.5×10^7
Aldolasa	Conejo	Músculo	1.7×10^6
Seudocolinesterasa	Hombre	Suero	1.2×10^6
Colesterol	Hombre	Suero	9.5×10^5
Fibrinógeno	Hombre	Suero	4.8×10^4
Glucosa	Rata	Organismo total	4.4×10^3
Metionina	Hombre	Organismo total	2.2×10^3
ATP de glicólisis	Hombre	Eritrocitos	1.6×10^3
ATP de glicólisis + respiración	Hombre	Trombocitos	4.8×10^2
ATP de glicólisis + respiración	Ratón	Tumor ascítico	4.0×10^1
Productos intermedios del ciclo del citrato	Rata	Riñón	1 – 10
Productos intermedios de la glicólisis	Ratón	Tumor ascítico	0.1 – 8.5
Flavoproteína red./flavoproteína ox.	Ratón	Tumor ascítico	4.6×10^{-2}
Fe^{2+}/Fe^{3+}, citocromo *a*	Saltamontes	Músculo del ala	10^{-2}
Fe^{2+}/Fe^{3+}, citocromo a_3	Ratón	Tumor ascítico	1.9×10^{-3}

Cuadro 6.2

Tasas de renovación de proteínas, determinadas por introducción de glicina marcada con ^{15}N. (Según Sprinson y Rittenberg, 1949b.)

		Tasa de renovación (r)
RATA:		
	Proteína total	0.04
	Proteínas del hígado, el plasma y los órganos internos	0.12
	Resto del cuerpo	0.033
HOMBRE:		
	Proteína total	0.0087
	Proteínas del hígado y el suero	0.0693
	Proteínas de la musculatura y otros órganos	0.0044

Cuadro 6.3

Tasas de mitosis en tejidos de rata. (Según F. D. Bertalanffy, 1960.)

	Tasa diaria de mitosis (por ciento)	*Tiempo de renovación (días)*
Organos sin mitosis:		
células nerviosas, neuroepitelio, neurilema, retina, médula suprarrenal	0	—
Organos con mitosis ocasional, pero sin renovación celular		
parénquima hepático, corteza y médula renales, la mayor parte del tejido glandular, uretra, epidídimo, vaso deferente, músculo, endotelio vascular, cartílago, hueso	menos de 1	—
Organos con renovación celular		
vías digestivas superiores	7-24	4.3-14.7
intestino grueso y ano	10-23	4.3-10
estómago y píloro	11-54	1.9- 9.1
intestino delgado	64-79	1.3- 1.6
tráquea y bronquios	2-4	26.7-47.6
uréter y vejiga	1.6-3	33-62.5
epidermis	3-5	19.1-34.5
glándulas sebáceas	13	8
córnea	14	6.9
nódulos linfáticos	14	6.9
células alveolares pulmonares	15	6.4
epitelio seminífero	—	16

marcaje con timidina tritiada, han revelado un ritmo de renovación a veces sorprendente. Antes de estas investigaciones nadie se esperaba que las células del tubo digestivo o del sistema respiratorio tuvieran vidas de apenas unos cuantos días.

Luego de explorar los caminos de las distintas reacciones metabólicas, en bioquímica se ha vuelto ahora tarea importante el entender los sistemas metabólicos integrados como unidades funcionales (Chance *et al.* 1965). La vía a seguir es la fisicoquímica de las reacciones enzimáticas en sistemas abiertos. La compleja red e interacción de docenas de reacciones ha quedado en claro en funciones como la fotosíntesis (Bradley y Calvin, 1956), la respiración (B. Hess y Chance, 1959; B. Hess, 1963) y la glicólisis, estudiada esta última mediante un modelo de computadora con varios centenares de ecuaciones diferenciales no lineales (B. Hess, 1969). Desde un punto de vista más general, comenzamos a darnos cuenta de que al lado de la organización morfológica visible, tal como se la observa al microscopio electrónico, al microscopio óptico y a ojo descubierto, hay otra organización, invisible, resultante de la interacción de procesos determinados por velocidades de reacción y de transporte y que se defiende de las perturbaciones del medio.

Los análogos hidrodinámicos (Burton, 1939; Garavaglia *et al.*, 1958; Rescigno, 1960) y particularmente los electrónicos representan otro acceso, aparte del experimento fisiológico, que permite en particular la solución de problemas de variables múltiples, los cuales de otra suerte superan los límites temporales y las técnicas matemáticas disponibles. De esta manera llegaron Zerbst *et al.* (1963 y otros trabajos) a importantes resultados acerca de la adaptación a la temperatura de la frecuencia cardiaca, los potenciales de acción de células sensorias (enmendando la teoría de retroalimentación de Hodgkin-Huxley), etc.

Por otra parte, hay que tener presentes las condiciones energéticas. La concentración —pongamos por caso— de proteínas en un organismo no corresponde al equilibrio químico; es necesario gasto energético para mantener el estado uniforme. La consideración termodinámica permite la estimación del gasto energético y la comparación con el balance energético del organismo (Schulz, 1950; von Bertalanffy, 1953a).

Otro campo de investigación es el transporte activo en los procesos celulares de importación y exportación, la función renal, etc.

Esto está vinculado a potenciales bioeléctricos. El tratamiento requiere la aplicación de la termodinámica irreversible.

En el organismo humano, el prototipo del sistema abierto es la sangre, con sus varias concentraciones mantenidas constantes. La concentración y la eliminación tanto de metabolitos como de sustancias de prueba administradas siguen cinética de sistemas abiertos. Sobre esta base se han desarrollado valiosas pruebas clínicas (Dost, 1953-1962). En un contexto más amplio, la acción farmacodinámica en general representa procesos que ocurrèn cuando se introduce un medicamento en el sistema abierto del organismo viviente. El modelo de sistema abierto sirve para fundar las leyes de los efectos farmacodinámicos y las relaciones entre dosis y efecto (Loewe, 1928; Druckery y Kuepfmüller, 1949; G. Werner, 1947).

Más aun, el organismo responde a estímulos externos. Esto puede considerarse como una perturbación seguida del restablecimiento de un estado uniforme. En consecuencia, las leyes cuantitativas de la fisiología de los sentidos, tales como la ley de Weber-Fechner, pertenecen a la cinética de los sistemas abiertos. Hecht (1931), mucho antes de la implantación formal de los sistemas abiertos, enunció la teórica de los fotorreceptores y las leyes existentes en términos de cinética de reacción «abierta» del material sensible.

El máximo de los problemas biológicos, lejos de toda teoría exacta, es el de la morfogénesis, el proceso misterioso merced al cual una diminuta gota de protoplasma casi indiferenciado, el óvulo fertilizado, acaba por transformarse en la maravillosa arquitectura del organismo multicelular. Es posible cuando menos desarrollar una teoría del crecimiento como incremento cuantitativo (cf. pp. 175 *ss*). Esto ha llegado a ser un método de rutina en las pesquerías internacionales (p. ej. Beverton y Holt, 1957). Esta teoría integra la fisiología del metabolismo y el crecimiento, demostrando que varios tipos de crecimiento, tal como se observa en algunos grupos de animales, depende de constantes metabólicas. Hace inteligible la equifinalidad del crecimiento, merced a la cual es alcanzado un tamaño típico de la especie, aun cuando difieran las condiciones de partida o fuese interrumpido el proceso de crecimiento. Al menos parte de la morfogénesis se realiza merced al llamado crecimiento relativo (J. Huxley, 1932), o sea diferentes ritmos de crecimiento de los varios órganos. Esto es consecuencia de la competencia entre tales componentes por los recursos disponibles en el organismo,

tal como se deriva de la teoría de los sistemas abiertos (capítulo VII).

No sólo la célula, el organismo, etc., pueden considerarse sistemas abiertos, sino también integraciones superiores, tales como biocenosis, etc. (cf. Beier, 1962, 1965). El modelo de sistema abierto es particularmente evidente (y de importancia práctica) en el cultivo continuo de células, tal como se aplica en ciertos procesos tecnológicos (Malek, 1958, 1964; Brunner, 1967).

Estos pocos ejemplos bastarán para indicar brevemente los vastos campos de aplicación del modelo de sistema abierto. Hace años se apuntó que las características fundamentales de la vida, el metabolismo, el crecimiento, el desarrollo, la autorregulación, la respuesta a estímulos, la actividad espontánea, etc., pueden a fin de cuentas considerarse consecuencias del hecho de que el organismo sea un sistema abierto. La teoría de tales sistemas, pues, sería un principio unificador capaz de combinar fenómenos diversos y heterogéneos bajo el mismo concepto general, y de derivar leyes cuantitativas. Creo que esta predicción ha resultado correcta en conjunto y que atestiguan en su favor numerosas investigaciones.

Detrás de estos hechos se insinúan los rasgos principales de una generalización todavía más amplia. La teoría de los sistemas abiertos es parte de una *teoría general de los sistemas*. Esta doctrina se ocupa de principios aplicables a sistemas en general, sin importar la naturaleza de sus componentes ni de las fuerzas que los gobiernen. Con la teoría general de los sistemas alcanzamos un nivel en el que ya no hablamos de entidades físicas y químicas sino que discutimos totalidades de naturaleza completamente general. Con todo, habrá principios de los sistemas abiertos que seguirán valiendo y siendo aplicables en campos más amplios, desde la ecología, la competencia y el equilibrio entre especies, hasta la economía humana y otros campos sociológicos.

Sistemas abiertos y cibernética

Aquí surge la importante cuestión de la relación entre la teoría general de los sistemas y la cibernética, la de los sistemas abiertos y los mecanismos de regulación (cf. pp. 167 *ss*). En el presente contexto bastarán unas cuantas observaciones.

La base del modelo de sistema abierto es la interacción dinámica entre sus componentes. La base del modelo cibernético es el ciclo

de retroalimentación (Fig. 1.1), en el cual, por retroalimentación de información, se mantiene un valor deseado *(Sollwert)*, se alcanza un blanco, etc. La teoría de los sistemas abiertos es una cinética y una termodinámica generalizadas. La teoría cibernética se basa en retroalimentación e información. Ambos modelos tienen, en sus respectivos campos, aplicaciones de éxito. No obstante, hay que guardar conciencia de sus diferencias y limitaciones.

El modelo de sistema abierto en formulación cinética y termodinámica no habla de información. Por otra parte, un sistema de retroalimentación es cerrado termodinámica y cinéticamente; no tiene metabolismo.

En un sistema abierto es termodinámicamente posible el aumento de orden y la disminución de entropía. La magnitud «información» es definida por una expresión formalmente idéntica a la entropía negativa. Sin embargo, en un mecanismo cerrado de retroalimentación la información sólo puede disminuir, nunca aumentar, o sea que la información puede transformarse en «ruido», mas no a la inversa.

Un sistema abierto consigue tender «activamente» hacia un estado de mayor organización, es decir, pasar de un estado de orden inferior a otro de orden superior, merced a condiciones del sistema. Un mecanismo de retroalimentación puede alcanzar «reactivamente» un estado de organización superior, merced a «aprendizaje», o sea a la información administrada al sistema.

En resumen, el modelo de retroalimentación es eminentemente aplicable a regulaciones «secundarias», a regulaciones basadas en disposiciones estructurales en el sentido amplio de la palabra. En vista, sin embargo, de que las estructuras del organismo se mantienen en el metabolismo y el intercambio de componentes, tienen que aparecer regulaciones «primarias» a partir de la dinámica de sistema abierto. El organismo se torna «mecanizado» conforme adelanta su desarrollo; así, regulaciones posteriores corresponden particularmente a mecanismos de retroalimentación (homeostasia, comportamiento encaminado a metas, etc.).

Así, el modelo de sistema abierto representa una fértil hipótesis de trabajo que permite nuevos ahondamientos, enunciados cuantitativos y verificación experimental. Quisiera, sin embargo, mencionar algunos importantes problemas no resueltos.

Problemas no resueltos

En el presente no disponemos de un criterio termodinámico que defina el estado uniforme en sistemas abiertos de modo parecido a como la entropía *máxima* define el equilibrio en los sistemas cerrados. Se pensó por un tiempo que ofrecía tal criterio la producción mínima de entropía, enunciado conocido como «teorema de Prigogine». Si bien hay algunos biólogos que lo siguen dando por descontado (p. ej. Stoward, 1962), hay que recalcar que el teorema de Prigogine —y su autor lo sabe bien— sólo es aplicable en condiciones bastante restrictivas. En particular, no define el estado uniforme de sistemas de reacción química (Denbigh, 1952; von Bertalanffy, 1953a, 1969b; Foster *et al.*, 1957). Una generalización más reciente del teorema de la producción mínima de entropía (Glansdorff y Prigogine, 1964; Prigogine, 1965), que engloba consideraciones cinéticas, está aún por evaluar en lo que respecta a consecuencias.

Otro problema no resuelto, y de naturaleza fundamental, se origina en una paradoja básica de la termodinámica. Eddington llamó a la entropía «la flecha del tiempo». De hecho, es la irreversibilidad de los acontecimientos físicos, expresada por la función entropía, la que da al tiempo su dirección. Sin entropía, es decir, en un universo de procesos completamente reversibles, no habría diferencia entre pasado y futuro. Sin embargo, las funciones de entropía no incluyen explícitamente el tiempo. Esto pasa tanto con la clásica función de entropía para sistemas cerrados de Clausius como con la función generalizada para sistemas abiertos y termodinámica irreversible debida a Prigogine. El único intento de colmar este vacío es, por lo que se me alcanza, otra generalización de la termodinámica irreversible, debida a Reik (1953), quien intentó introducir explícitamente el tiempo en las ecuaciones de la termodinámica.

Otro problema al que hay que enfrentarse es el de la relación entre la termodinámica irreversible y la teoria de la información. El orden es la base de la organización, y con ello el problema más fundamental de la biología. En cierto sentido, puede medirse el orden por la entropia *negativa* en el sentido ordinario de Boltzmann. Tal mostró, p. ej., Schulz (1951), en el caso de la disposición no casual de aminoácidos en una cadena proteínica. Su organización en contraste con la disposición al azar es medible mediante un término llamado entropía de cadena *(Kettenentropie)*. Sin embargo,

existe un enfoque distinto al problema, a saber, la medición en términos de decisiones de sí o no, de los llamados *bits*, dentro del marco de la teoría de la información. Como es bien sabido, la información se define mediante un término formalmente idéntico a la entropía negativa, indicando así una correspondencia entre los dos sistemas teóricos distintos de la termodinámica y de la teoría de la información. Se diría que el paso siguiente habría de ser la elaboración de un diccionario —por así decirlo— para traducir el lenguaje de la termodinámica al de la teoría de la información, y viceversa. Es claro que con este fin habrá que emplear la termodinámica irreversible generalizada, ya que es sólo en sistemas abiertos donde el mantenimiento y la elaboración de orden no van contra el principio entrópico básico.

El biofísico ruso Trincher (1965) llegó a la conclusión de que la entropía, función de estado, no era aplicable a los sistemas vivientes; contrasta el principio de entropía de la física con principios biológicos «de adaptación y evolución», que expresan un incremento de información. Aquí hemos de tener presente que el principio entrópico posee una base física en la derivación de Boltzmann, en mecánica estadística y en la transición hacia distribuciones más probables necesaria en los procesos casuales; hoy por hoy no puede darse explicación física de los principios fenomenológicos de Trincher.

Aquí estamos entre problemas fundamentales que, en mi concepto, son «barridos con la escoba debajo de la alfombra» en el credo biológico del presente. Hoy, la teoría sintética de la evolución la considera resultado de mutaciones casuales, según un símil bien conocido (Beadle, 1963) de «errores mecanográficos» en la reduplicación del código genético, bajo el imperio de la selección; es decir, de la supervivencia de aquellas poblaciones o genotipos que producen mayor descendencia en las condiciones externas existentes. De modo similar, el origen de la vida es explicado por aparición casual de compuestos orgánicos (aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas, ATP, etc.) en un océano primordial, los cuales, por selección, constituyeron unidades que se reproducían, formas análogas a los virus, protoorganismos, células, etc.

En contraste con esto, hay que señalar que la selección, la competencia y la «supervivencia del más apto» *presuponen* la existencia de sistemas que se automantengan; así, no pueden ser *resultado* de la selección. Hoy por hoy no conocemos ley física alguna que

prescriba que, en una «sopa» de compuestos orgánicos, se formen sistemas abiertos que se automantengan en un estado de la máxima improbabilidad. Y aun aceptando tales sistemas como «dados», no hay ley en física que afirme que su evolución, en conjunto, procedería hacia la organización creciente, o sea hacia la improbabilidad. La selección de genotipos con máxima prole ayuda poco a este respecto. Es difícil comprender por qué, debido a diferencias en el ritmo de reproducción, la evolución habrá ido más allá de los conejos, los arenques o incluso las bacterias, sin rival en su tasa de reproducción. La generación de condiciones locales de orden superior (y correspondiente improbabilidad) es físicamente posible sólo si intervienen «fuerzas organizacionales» de alguna clase; tal es el caso en la formación de cristales, donde tales fuerzas son las valencias, las fuerzas reticulares, etc. Estas fuerzas, sin embargo, son negadas explícitamente cuando el genoma se considera acumulación de «errores mecanográficos».

Seguramente la investigación venidera tendrá que tomar en consideración la termodinámica irreversible, la acumulación de información en el código genético y las «leyes organizacionales» en el último. Hoy en día el código genético representa el *vocabulario* de la sustancia hereditaria, los tripletes de nucleótidos con los que «se escriben» los aminoácidos de las proteínas de un organismo. Es claro que también *tiene* que existir una *gramática* del código; por decirlo en términos psiquiátricos, éste no puede ser una ensalada de palabras, una serie aleatoria de palabras sin relación (tripletes de nucleótidos y los correspondientes aminoácidos de las moléculas proteínicas). Sin esta «gramática», el código, en el mejor de los casos, produciría un montón de proteínas, pero no un organismo organizado. Ciertas experiencias sobre la regulación genética indican la existencia de esa organización del sustrato hereditario; habrá que estudiar también sus efectos en las leyes macroscópicas de la evolución (von Bertalanffy, 1949a; Rensch, 1961). Creo, por tanto, que la «teoría sintética de la evolución» generalmente aceptada hoy representa, cuando mucho, una verdad parcial, no una teoría completa. Aparte de más investigación biológica, habrá que tomar en cuenta consideraciones físicas en la teoría de los sistemas abiertos y sus presentes problemas de fronteras.

Conclusión

El modelo del organismo como sistema abierto ha demostrado

su utilidad en la explicación y formulación matemática de numerosos fenómenos vitales; lleva también —como es de esperarse de una hipótesis científica de trabajo— a nuevos problemas, algunos de naturaleza fundamental. Esto implica que no sólo tiene importancia científica sino también «metacientífica». El concepto predominante mecanicista de la naturaleza ha insistido hasta la fecha en descomponer los aconteceres en cadenas causales lineales, en concebir el mundo como resultado de acontecimientos casuales, como «juego de dados» físico y darwiniano (Einstein), en la reducción de procesos biológicos a leyes conocidas por la naturaleza inanimada. En contraste con esto, en la teoría de los sistemas abiertos (y su posterior generalización en la teoría general de los sistemas) se manifiestan principios de interacción entre múltiples variables (p. ej., cinética de reacción, flujos y fuerzas en termodinámica irreversible), organización dinámica de los procesos y una posible expansión de las leyes físicas, teniendo en consideración el reino biológico. Con lo cual estos adelantos forman parte de una nueva formulación de la visión científica del mundo.

VII. Algunos aspectos de la teoría de los sistemas en biología

> Al abrir el presente simposio acerca de la biología cuantitativa del metabolismo, se diría que la misión del conferenciante debiera consistir en esbozar el marco conceptual del campo en cuestión, ilustrando sus ideas conductoras, sus teorías o —acaso sea mejor decirlo así— las construcciones conceptuales o modelos que aplica.

De acuerdo con una opinión muy difundida, hay una distinción fundamental entre los «hechos observados», por un lado —incuestionable fundamento rocoso de la ciencia y que deben ser recopilados en el mayor número posible e impresos en revistas científicas—, y por otro la «mera teoría», que es producto de la especulación y más o menos sospechosa. Me parece que el primer punto que debo subrayar es la *inexistencia* de semejante antítesis. De hecho, cuando tomamos datos supuestamente sencillos en nuestro campo —determinación, digamos, de Q_{O_2}, tasas de metabolismo basal o coeficientes de temperatura—, harían falta horas para sacar a relucir el enorme volumen de supuestos previos teóricos necesarios para constituir tales conceptos, idear situaciones experimentales adecuadas, crear máquinas que hagan el trabajo: todo esto implican los datos supuestamente brutos de la observación. Obtenida una serie de tales valores, la cosa más «empírica» que se puede hacer es presentarlos en una tabla de promedios y desviaciones estándar. Esto supone el modelo de una distribución binomial, y con ello

toda la teoría de la probabilidad, profundo problema matemático, filosófico y hasta metafísico, en gran medida no resuelto. Si corre uno con suerte, los datos podrán proyectarse de modo sencillo y se obtendrá como gráfica una recta. Pero considerando la inconcebible complejidad de procesos, incluso en una simple célula, es poco menos que un milagro que el modelo más sencillo —una ecuación lineal entre dos variables— sea efectivamente aplicable a no pocos casos.

De modo que hechos de observación supuestamente no adulterados están ya impregnados de toda suerte de imágenes conceptuales, conceptos de modelos, teorías o como nos guste decirlo. La elección no es entre quedarse en el campo de los datos o bien teorizar; es sólo entre modelos que son más o menos abstractos, generalizados, próximos o más alejados de la observación directa, más o menos adecuados para representar los fenómenos observados.

Por otra parte, no hay que tomar demasiado en serio los modelos científicos. Kroeber (1952), el gran antropólogo estadounidense, hizo una vez un sabio estudio acerca de las modas de las damas. Como todos sabemos, a veces las faldas se alargan hasta estorbar al andar; luego suben hasta el extremo opuesto. El análisis cuantitativo reveló a Kroeber una tendencia secular, así como fluctuaciones a corto plazo en la longitud de las faldas. He aquí una pequeña ley natural perfectamente buena; sin embargo, poco tiene que ver con la realidad última de la naturaleza. Opino que cierta dosis de humildad intelectual, falta de dogmatismo, y buen humor, ayudarán mucho a facilitar debates amargos acerca de teorías y modelos científicos.

Es en este plan como voy a discutir cuatro modelos harto fundamentales en el campo del metabolismo cuantitativo. Los modelos escogidos son los del organismo como sistema abierto y estado uniforme, la homeostasia, la alometría y el llamado modelo de Bertalanffy para el crecimiento. No quiero decir que estos modelos sean los más importantes de nuestro campo, sino que son usados con bastante extensión e ilustran el marco conceptual tan bien como otros.

Sistemas abiertos y estados uniformes

Cualquier investigación moderna del metabolismo y el crecimiento debe tener en cuenta que el organismo vivo, así como sus compo-

nentes, sólo que se llaman sistemas abiertos, es decir, sistemas que se mantienen en continuo intercambio de materia con el medio circundante (Fig. 7.1). El punto esencial es que los sistemas abiertos caen más allá de los límites de la fisicoquímica ordinaria en sus dos ramas principales, cinética y termodinámica. En otros términos, la cinética y la termodinámica habituales no son aplicables a muchos procesos del organismo vivo; la biofísica —la aplicación de la física al organismo viviente— necesita una *expansión* de la teoría.

La célula y el organismo vivos no representan pautas estáticas o estructuras como máquinas, consistentes en «materiales de construcción» más o menos permanentes, entre los cuales los «materiales productores de energía» procedentes de la nutrición fueran degradados para abastecer de energía los procesos. Se trata de un proceso continuo en el cual hay degradación y regeneración tanto de los materiales de construcción como de las sustancias productoras de energía (*Bau* y *Betriebsstoffe* de la fisiología clásica). Pero esta continua degradación y síntesis está regulada de tal manera que la célula y el organismo se mantienen aproximadamente constantes en un estado de los llamados uniformes (*Fliessgleichgewicht*, von Bertalanffy). He aquí un misterio fundamental de los sistemas vivos; todas las demás características, como metabolismo, crecimiento, desarrollo, autorregulación, reproducción, estímulo-respuesta, actividad autónoma, etc., son en resumidas cuentas consecuencias de este hecho básico. Que el organismo es un «sistema abierto», es cosa reconocida como uno de los criterios más fundamentales de los sistemas vivos, al menos por lo que toca a la ciencia alemana (p. ej., von Bertalanffy, 1942; Zeiger, 1955; Butenandt, 1955, 1959).

Antes de seguir adelante, quisiera pedir disculpas a mis colegas alemanes por insistir en temas con los que están familiarizados y que yo mismo he expuesto con frecuencia. Como Dost (1962a) afirmó en un artículo reciente, «nuestros hijos ya tienen en cuenta este asunto en sus exámenes premédicos» —refiriéndose a la teoría de los sistemas abiertos en las formulaciones cinética y termodinámica. Recuerdese —por no dar sino dos ejemplos— la presentación del tema por Blasius (1962) en las nuevas ediciones de nuestro clásico Landois-Rosemann, y la de Netter en su monumental libro *Theoretical Biochemistry* (1959). Lamento decir que no se da el mismo caso con la biofísica y la fisiología en los Estados Unidos. He buscado en vano en buenos textos estadounidenses expresiones como «sistema abierto», «estado uniforme» y «termodinámica irreversi-

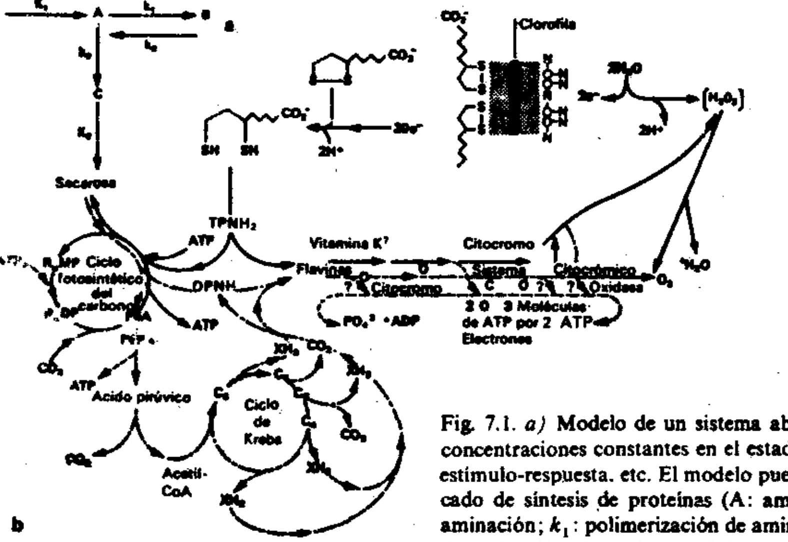


Fig. 7.1. *a)* Modelo de un sistema abierto sencillo, mostrando el mantenimiento de concentraciones constantes en el estado uniforme, la equifinalidad, la adaptación, el estímulo-respuesta. etc. El modelo puede ser interpretado como un esquema simplificado de síntesis de proteínas (A: aminoácidos; B: proteína; C: productos de desaminación; k_1: polimerización de aminoácidos a proteína; k_2: despolimerización; k_3: desaminación; $k_2 \ll k_1$; suministro energético para la síntesis de proteína no indicado). En forma algo modificada, el modelo es el de Sprinson y Rittenberg (1949) para el cálculo del ciclo de renovación de las proteínas, de acuerdo con experimentos con isótopos. (Según von Bertalanffy, 1953a.)

b) El sistema abierto de ciclos de reacciones en la fotosíntesis por las algas. (Según Bradley y Calvin, 1957.)

ble». Lo cual es como decir que precisamente el criterio que distingue de raíz los sistemas vivientes de los inorgánicos habituales es por lo general descuidado o esquivado.

La consideración de los organismos vivientes como sistemas abiertos que intercambian materia con el medio circundante comprende dos cuestiones: primero, su *estática*, o sea el mantenimiento del sistema en un estado independiente del tiempo; segundo, su *dinámica*, los cambios en el sistema con el tiempo. Puede ser visto el problema desde los ángulos de la cinética y de la termodinámica.

Hay en la bibliografía discusiones detenidas de la teoría de los sistemas abiertos (extensas bibliografías en von Bertalanffy, 1953a, 1960b). Me restringiré, pues, a decir que tales sistemas tienen notables rasgos, de los cuales mencionaré unos cuantos. Una diferencia fundamental es que los sistemas cerrados *deben* a fin de cuentas alcanzar un estado, independiente del tiempo, de equilibrio químico y termodinámico; en contraste, los sistemas abiertos *pueden* alcanzar, en ciertas condiciones, un estado independiente del tiempo que se llama estado uniforme, o *Fliessgleichgewicht*, por usar un término que introduje hace unos veinte años. En estado uniforme, la composición del sistema se mantiene constante, a pesar del continuo intercambio de componentes. Los estados uniformes o *Fliessgleichgewichte* son equifinales (Fig. 6.1): el mismo estado independiente del tiempo puede ser alcanzado a partir de diferentes condiciones iniciales y por distintos caminos, en gran contraste con los sistemas físicos ordinarios, donde el estado de equilibrio está determinado por las condiciones iniciales. Así, aun el más sencillo sistema abierto reaccionante exhibe la característica que define la restitución, regeneración biológicas, etc. Más aun, la termodinámica clásica, por definición, se ocupa sólo de sistemas cerrados, que no intercambian materia con sus alrededores. A fin de tratar los sistemas abiertos fue necesaria una expansión y generalización que es conocida como *termodinámica irreversible*. Una de sus consecuencias es la elucidación de un viejo rompecabezas vitalista. De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la dirección general de los acontecimientos físicos es hacia estados de máxima entropía, probabilidad y desorden molecular, que nivelan las diferencias existentes. En contraste y «violenta contradicción» con el segundo principio (Adams, 1920), los organismos vivos se mantienen en un estado fantásticamente improbable, preservan su orden pese a continuos procesos irreversibles y aun avanzan en el desarrollo embrionario

y la evolución hacia diferenciaciones siempre crecientes. Este aparente enigma desaparece considerando que el clásico segundo principio atañe sólo, por definición, a sistemas cerrados. En sistemas abiertos que incorporan materia rica en energía, el mantenimiento de un alto grado de orden y hasta el avance hacia órdenes superiores es cosa termodinámicamente permitida.

Los sistemas vivos se mantienen en un intercambio más o menos rápido, en degeneración y regeneración, catabolismo y anabolismo de sus componentes. El organismo vivo es un orden jerárquico de sistemas abiertos. Lo que se impone como estructura duradera en determinado nivel está sustentado, de hecho, por continuo intercambio de componentes en el nivel inmediatamente inferior. Así el organismo multicelular se mantiene en y por intercambio de células, la célula por intercambio de estructuras celulares, éstas por intercambio de ingredientes químicos, etc. Como regla general, los ritmos de renovación son tanto más veloces cuanto menores son los componentes considerados (Cuadros 6.1-3). He aquí una buena ilustración del fluir heraclíteo en el cual y merced al cual se mantiene el organismo vivo.

Hasta aquí la estática de los sistemas abiertos. Si echamos una ojeada a los cambios de los sistemas abiertos con el tiempo, descubrimos una vez más características notables. Pueden darse tales cambios porque el sistema vivo esté inicialmente en un estado inestable y tienda hacia un estado uniforme; tales son, hablando a grandes rasgos, los fenómenos del crecimiento y el desarrollo. O, si no, el estado uniforme puede ser perturbado por un cambio en las condiciones externas, lo que se llama un estímulo, y esto —hablando, una vez más, a rasgos generales— comprende adaptación y estímulo-respuesta. Aquí también se dan diferencias características con respecto a los sistemas cerrados. Estos suelen tender hacia estados de equilibrio siguiendo un curso asintótico. En contraste, en los sistemas abiertos pueden darse fenómenos de falso arranque y de exceso (Fig. 6.2). En otros términos: si se observa exceso o falso arranque —como ocurre en tantos fenómenos fisiológicos— es de esperarse que se trate de un proceso en un sistema abierto, con ciertas características matemáticas predecibles.

Según revela una reseña de trabajos recientes (capítulo VI), la teoría del organismo como sistema abierto es un campo en animado desarrollo —cual debe de ser, viendo la naturaleza básica del *Fliessgleichgewicht* biológico. Los anteriores ejemplos son expuestos por-

que, después de las investigaciones esenciales de Schönheimer (1947) y su grupo acerca del «estado dinámico de los constituyentes del cuerpo», mediante indicadores isotópicos, este campo ha sido extrañamente descuidado por la biología estadounidense que, bajo la influencia de los conceptos cibernéticos, ha tendido a retornar al concepto de la célula y el organismo considerados como máquinas, descuidando con ello los importantes principios ofrecidos por la teoría de los sistemas abiertos.

Retroalimentación y homeostasia

En lugar de la teoría de los sistemas abiertos, hay otro modelo mejor conocido por la escuela estadounidense. Es el concepto de regulación por retroalimentación, fundamental en cibernética y formulado biológicamente en el concepto de homeostasia por Cannon (p. ej., Wiener, 1948; Wagner, 1954; Mittelstaedt, 1954, 1956; Kment, 1957). Sólo podemos concederle breve consideración.

Según es generalmente sabido, el modelo básico es un proceso circular en el cual parte de la salida es remitida de nuevo, como información sobre el resultado preliminar de la respuesta, a la entrada (Fig. 7.2a), haciendo así que el sistema se autorregule, sea en el sentido de mantener determinadas variables o de dirigirse hacia una meta deseada. Lo primero pasa, p. ej., en un sencillo termostato y en el mantenimiento de temperatura constante y de otros muchos parámetros en el organismo vivo; se aprecia el segundo caso, p. ej., en los proyectiles autodirigidos y en el control propioceptivo de los movimientos voluntarios. Disposiciones de retroalimentación más complicadas, en tecnología y fisiología (p. ej., Fig. 7.2b), son variaciones o agregados fundados en el esquema esencial.

Los fenómenos de regulación según el esquema de retroalimentación están difundidísimos en todos los campos de la fisiología. Además, el concepto es atractivo en una época en la que la ingeniería del control y la automatización florece, las computadoras, los servomecanismos, etc., ocupan el centro del interés, y el modelo del «organismo como servomecanismo» atrae el *Zeitgeist* de una sociedad mecanizada. De ahí que el concepto de retroalimentación haya a veces asumido un monopolio, en detrimento de otros puntos de vista igualmente necesarios y fecundos. El modelo de retroalimentación es igualado con la «teoría de los sistemas» en general (Grodin, 1963; Jones y Gray, 1963; Casey, 1962), o la «biofísica» casi es

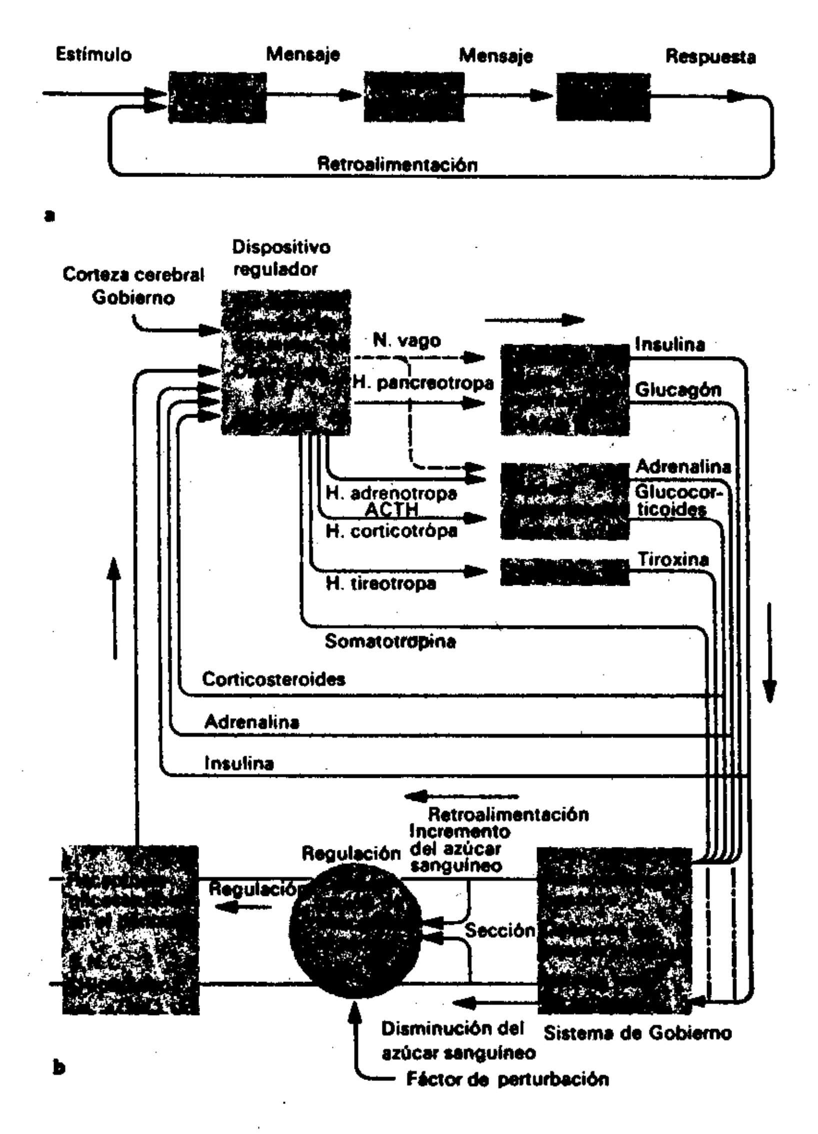


Fig. 7.2 *a:* Esquema sencillo de retroalimentación. *b:* Regulación homeostática de la concentración de azúcar en la sangre. (Según Mittelstaedt, 1954.)

identificada con «planeación de computadoras y teoría de la información» (Elsasser, 1958, p. 9). De ahí que sea importante hacer hincapié en que los sistemas de retroalimentación y control «homeostático» son un caso significativo pero especial de sistemas autorreguladores y fenómenos de adaptación (cf. capítulo VI). Los siguientes son, al parecer, los criterios esenciales de los sistemas de control por retroalimentación:

(1) La regulación se basa en disposiciones preestablecidas («estructuras» en sentido amplio). Esto queda bien expresado por la palabra alemana *Regelmechanismen*, que indica explícitamente que los sistemas considerados tienen naturaleza de «mecanismos», en contraste con las regulaciones de naturaleza «dinámica» resultantes del libre juego de fuerzas y de la interacción mutua entre componentes, tendiente hacia el equilibrio o estados uniformes.

(2) Las líneas causales dentro del sistema de retroalimentación son lineales y unidireccionales. El esquema básico de retroalimentación (Fig. 7.2) sigue siendo el clásico esquema de estímulo-respuesta (E-R), sólo que el bucle de retroalimentación hace que la causalidad se convierta en circular.

(3) Los fenómenos típicos de retroalimentación u homeostáticos son «abiertos» con respecto a la información entrante, pero «cerrados» por lo que atañe a la materia y la energía. Los conceptos de la teoría de la información —particularmente la equivalencia entre información y entropía negativa— corresponden por tanto a la termodinámica «cerrada» (termostática) y no a la termodinámica irreversible de los sistemas abiertos. Sin embargo, esta última es presupuesta si el sistema (como el organismo vivo) ha de ser «autoorganizador» (Foerster y Zopf, 1962) y de marchar hacia mayor diferenciación. Tal como se mencionó antes, aún no se ha logrado la síntesis. El esquema cibernético permite, por medio de diagramas de bloques, aclarar muchos fenómenos importantes de autorregulación en fisiología y se presta a análisis según la teoría de la información. El esquema de sistema abierto permite el análisis cinético y termodinámico.

La comparación de los diagramas de flujo de los sistemas de retroalimentación (Fig. 7.2) y abiertos (Fig. 7.1) ilustra intuitivamente la diferencia. O sea que la dinámica en sistemas abiertos y los mecanismos de retroalimentación constituyen dos conceptos diferentes, cada uno válido en su propia esfera. El modelo de sistema abierto es básicamente no mecanicista y no sólo va más allá de

la termodinámica ordinaria, sino de la causalidad unidireccional, tan importante en la teoría física habitual (cf. capítulo IV). El enfoque cibernético conserva el modelo del organismo como máquina cartesiana, la causalidad unidireccional y los sistemas cerrados; su novedad reside en la introducción de conceptos que trascienden la física común, especialmente los de la teoría de la información. A fin de cuentas, esta pareja es una expresión moderna de la vieja antítesis entre «proceso» y «estructura»; tendrá que acabar resolviéndose dialécticamente en alguna nueva síntesis.

Fisiológicamente hablando, el modelo de retroalimentación da razón de lo que pudieran llamarse «regulaciones secundarias» en el metabolismo y otros campos, las regulaciones merced a mecanismos preestablecidos y caminos fijos, como en el control neurohormonal. Su carácter mecanicista lo hace particularmente aplicable a la fisiología de órganos y sistemas de órganos. Por otra parte, la interacción dinámica entre reacciones en sistemas abiertos se aplica a las «regulaciones primarias», como en el metabolismo celular (cf. Hess y Chance, 1959), donde se da la regulación de sistema abierto, más general y primitiva.

La alometría y la regla de superficie

Pasemos al tercer modelo, el llamado principio de la alometría. Según es bien sabido muchos fenómenos del metabolismo y de la bioquímica, la morfogénesis, la evolución, etc., siguen una ecuación sencilla:

$$y = bx^{\alpha}, \tag{7.1}$$

o sea que si una variable y es proyectada logarítmicamente frente a otra variable x se obtiene una línea recta. Hay tantos casos en que es válida esta ecuación, que no hacen falta ejemplos. Examinemos mejor los fundamentos. La llamada ecuación alométrica es, de hecho, la ley más sencilla posible del crecimiento relativo, tomando el término en el más amplio sentido, o sea el incremento de una variable y con respecto a otra variable x. Vemos esto de inmediato escribiendo la ecuación en una forma algo diferente:

$$\frac{dy}{dt} \cdot \frac{1}{y} : \frac{dx}{dt} \cdot \frac{1}{x} = \text{tasa rel. de cr. } (y, x) = \alpha \tag{7.2}$$

Como fácilmente se ve, la ecuación alométrica es una solución de esta función que afirma que la razón entre los crecimientos relativos de y y x es constante. Se llega en seguida a la relación alométrica considerando que todo crecimiento relativo —del cual sólo se presupone la continuidad— puede en general ser expresado por:

$$\text{t.r.c. } (y, x) = F, \tag{7.3}$$

donde F es alguna función no definida de las variables en cuestión. La hipótesis más simple es que F es una constante, α, lo cual representa el principio de la alometría.

No obstante, es bien sabido que, históricamente, el principio de la alometría llegó a la fisiología por un camino muy distinto de la derivación dada. Apareció, con forma mucho más especial, cuando Sarrus y Rameaux encontraron, hacia 1840, que la tasa metabólica en animales de diferente peso corporal no aumenta proporcionalmente al peso sino a la superficie. Tal es el origen de la famosa ley de superficie para el metabolismo, o Ley de Rubner, y vale la pena echar una ojeada a los datos originales de Rubner, alrededor de 1880 (Cuadro 7.1). En perros de peso variable, la

Cuadro 7.1
Metabolismo en los perros. (Según Rubner, hacia 1880).

peso en Kg	*producción de cal por Kg*	*producción de cal por m² de superficie corporal*
3.1	85.8	1 909
6.5	61.2	1 073
11.0	57.3	1 191
17.7	45.3	1 047
19.2	44.6	1 141
23.7	40.2	1 082
30.4	34.8	984

tasa metabólica decrece si se calcula por unidad de peso; permanece aproximadamente constante por unidad de superficie, con una tasa diaria de unas 1 000 Kcal por metro cuadrado. Según es bien sabido, esta ley de superficie generó un enorme debate en la bibliografía. La verdad es que la Ley de Rubner es un caso muy

especial de la función alométrica, con y representando la tasa de metabolismo basal, x el peso corporal, y exponente α de aproximadamente 2/3.

Me parece que la derivación general que se acaba de exponer pone la ley de superficie en condiciones de ser vista como es debido. Se superan interminables discusiones, que duran ya unos 80 años, cuando se toma como caso especial de alometría, y se toma la ecuación alométrica por lo que en realidad es: una fórmula aproximada, muy simplificada, aplicable a una gama pasmosamente amplia de fenómenos, sin que se trate de un dogma ni de una explicación para todo. Serán entonces de esperarse toda suerte de relaciones alométricas entre mediciones metabólicas y dimensiones corporales, con cierta preponderancia de funciones de superficie o de potencia 2/3, visto el hecho de que muchos procesos metabólicos están controlados por superficies. Esto es precisamente lo que encontramos (Cuadro 7.2). En otras palabras, 2/3 no es ningún número mágico,

Cuadro 7.2

Ecuaciones que vinculan propiedades cuantitativas y pesos corporales en mamíferos. (Según Adolph, 1949, modificado.)

	regresión $\alpha =$		*regresión* $\alpha =$
incorporación de agua (ml/h)	0.88	peso de hemoglobina (g)	0.99
producción de orina (ml/h)	0.82	peso de mioglobina (g)	1.31
eliminación de urea (ml/h)	0.72	peso de citocromo (g)	0.62
eliminación de inulina (ml/h)	0.77	número de nefronas	0.62
eliminación de creatinina (ml/h)	0.69	diámetro renal (cm)	0.08
eliminación de diodrast (ml/h)	0.89	peso renal (g)	0.85
eliminación de hipurato (ml/h)	0.80	peso cerebral (g)	0.70
consumo basal de O_2 (ml STP/h)	0.734	peso cardiaco (g)	0.98
duración del latido cardiaco (h)	0.27	peso pulmonar (g)	0.99
duración de la inspiración (h)	0.28	peso hepático (g)	0.87
tasa de ventilación (ml/h)	0.74	peso tiroideo (g)	0.80
volumen «de marea» (ml)	1.01	peso suprarrenal (g)	0.92
duración del batimiento digestivo (h)	0.31	peso pituitario (g)	0.76
producción total de N (g/h)	0.735	peso estomacal + intestinal (g)	0.94
producción de N endógeno (g/h)	0.72	peso sanguíneo (g)	0.99
producción de N creatinínico (g/h)	0.90	*Ley de superficie:* $\alpha = 0.66$ en relación con el peso absoluto ($y = bw^{\alpha}$); 0.33 en relación con la unidad de peso ($y/w = bw^{\alpha}$).	
producción de azufre (g/h)	0.74		
consumo de O_2, rebanadas de hígado (ml STP/h)	0.77		

ni tiene tampoco nada de sagrado el exponente 3/4 que más recientemente ha sido preferido a la clásica ley (Brody, 1945; Kleiber, 1961). Ni la expresión *Gesetz der fortschreitenden Stoffwechselreduktion* (Lehmánn, 1956) —ley de la reducción progresiva de la tasa metabólica— es oportuna, pues hay procesos metabólicos que no exhiben regresión al aumentar el tamaño.

Además, de esto se sigue que la dependencia de las tasas metabólicas con respecto al tamaño corporal no es invariable, como suponía la ley de superficie. Puede, antes bien, variar, y lo hace, en función de: (1) el organismo o tejido en consideración; (2) las condiciones fisiológicas; (3) factores experimentales.

Por lo que respecta a la variación dependiente del *organismo* o del *tejido* en cuestión, presentaré luego ejemplos tocantes al metabolismo total. En la Fig. 7.3 figuran diferencias en la dependencia

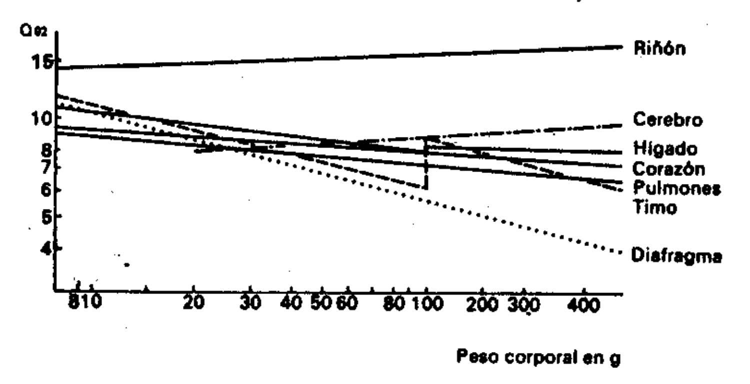


Fig. 7.3. Q_{O_2} (μl O_2/mg peso seco/h) de varios tejidos de rata. Sólo se muestran las líneas con regresión en esta figura y en las siguientes; para datos completos, ver las publicaciones originales. (Según von Bertalanffy y Pirozynski, 1953.)

del Q_{O_2} con respecto al tamaño, en varios tejidos. El cuadro 7.3 expone un ejemplo parecido, en relación con la comparación de alometrías intra e interespecíficas. Las variaciones en la dependencia del ritmo metabólico con respecto al tamaño según las *condiciones fisiológicas*, las demuestran datos obtenidos en nuestro laboratorio sobre un importante aspecto que ha sido poco investigado. La dependencia del metabolismo con respecto al tamaño, según la expresa el exponente alométrico α varía, según se mida la tasa metabólica basal, el metabolismo en reposo o el metabolismo en

actividad muscular. La Fig. 7.4 representa tales variaciones en ratas, comparando los ritmos metabólicos basales y no basales. La Fig. 7.5 lleva adelante la comparación en los ratones, incluyendo diferentes grados de actividad muscular. Estos datos confirman la afirmación de Locker (1961a) de que con creciente intensidad de la tasa metabólica, α tiende a disminuir. También se encuentran variaciones en la pendiente de las líneas de regresión en invertebrados, al comparar las tasas metabólicas de animales que están ayunando o no (Fig. 7.6). Las variaciones de α con las *condiciones experimentales* merecen mucha mayor atención de la que se les suele otorgar. A menudo se procede como si Q_{O2} fuese una constante característica del tejido considerado. Tal no es en absoluto el caso. Se manifiestan variaciones, p. ej., con diferentes bases de referencia, tales como peso fresco, peso seco, contenido en N, etc. (Locker, 1961b). La demostración más sencilla es el cambio de medio. No sólo —como sabe cualquier experimentador— varía grandemente la magnitud

Cuadro 7.3

Alométria intra e interespecífica (constantes α) en órganos de mamíferos. (Según von Vertalanffy y Pirozynski, 1952.)

	rata (B. y P.)	*(Brody)*	*gato*	*perro (varios autores)*	*mono*	*bovino*	*caballo*	*mamíferos adultos interespecífico*
cerebro	0.20	0.17		0.25	0.62	0.30	0.24	0.66 0.69 0.58 0.54
corazón	0.82	0.80	♂0.92 ♀0.82	1.00 0.86 0.93	0.69	0.93		0.83 0.82 0.85 0.84 0.98
pulmones	0.73	0.75		0.82	0.92		0.58	0.98 0.99
hígado	ciclo 1: 1.26 ciclo 2: 0.67	ciclo 1: 1.14 ciclo 2: 0.68		0.71		0.70	0.61	0.87 0.88 0.92
riñones	0.80	0.82	♂0.65 ♀0.61	0.70			0.66	0.85 0.87 0.76

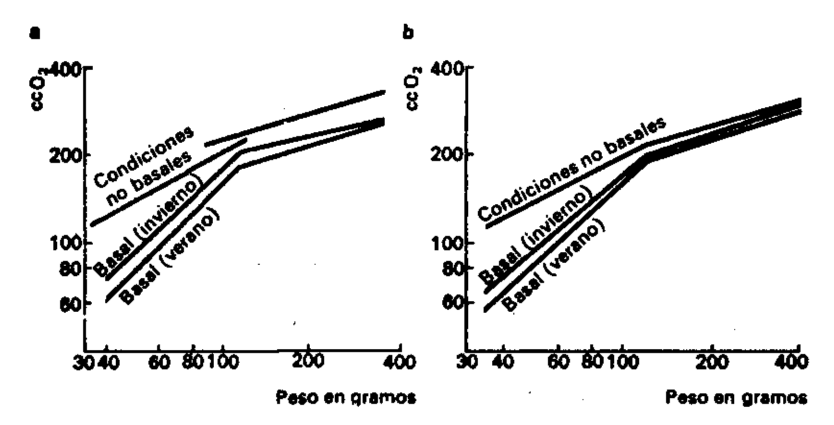


Fig. 7.4. Dependencia de tasas metabólicas con respecto al tamaño en la rata en condiciones basales y no basales. Los animales ayunaron 18 horas antes del experimento (los animales pequeños, menos); determinaciones a 29-30; condiciones de reposo muscular. La fractura en las líneas de regresión a un peso corporal de 110 g corresponde a muchos cambios fisiológicos (cf. *Fig. 7.11*). Las determinaciones basales veraniegas fueron realizadas con un período de climatización de 15-18 horas de termoneutralidad antes del experimento. Las basales invernales, sin climatización. Las condiciones no basales fueron de 10 horas de ayuno seguidas de una comida 45-60 minutos antes del experimento. *a*, ♂; *b*, ♀. (Datos inéditos de Racine y von Bertalanffy.)

de Q_{O2} según se emplee, p. ej., medio salino o medio con metabolitos; lo mismo vale en el caso de la dependencia con respecto al tamaño o del parámetro α (Fig. 7.7). La regla de Locker vuelve a verificarse, como ya se señaló; sus confirmaciones por los experimentos resumidos en las Figs. 7.4, 7.5 y 7.7 resultan particularmente impresionantes, ya que se obtuvieron de modo independiente y antes de que la regla fuera enunciada. La variación de Q_{O2} en diferentes medios indica que se miden diferentes procesos parciales de la respiración.

Tal es la razón de que yo dude de la posibilidad de obtener el metabolismo total o tasa de metabolismo basal por suma de tejidos, como dicen (Martin y Fuhrmann, 1955). ¿Qué Q_{O2} de los distintos tejidos habrá que sumar? ¿Los valores de Q_{O2} obtenidos, pongamos por caso, según la solución de Ringer, o aquellos, a veces dos veces mayores, que se logran con metabolitos? ¿Cómo se suman las diferentes α de los varios tejidos dando los 2/3 ó 3/4 que se observan en la tasa de metabolismo basal del animal entero? Por añadidura, Locker (1962) ha mostrado que también los procesos

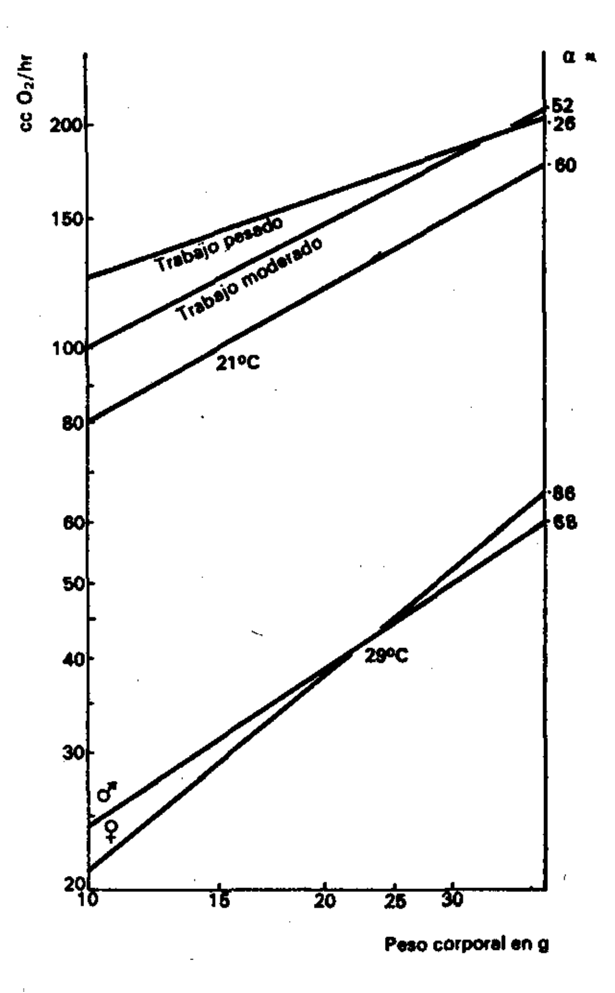


Fig. 7.5. Dependencia de tasas metabólicas con respecto al tamaño en el ratón. Determinaciones a 29° C y 21° C; ayuno previo y climatización. En los experimentos con actividad muscular, es considerable la dispersión de los valores, en virtud de la dificultad de mantener constante el trabajo realizado. De ahí que esté bien establecida la afirmación cualitativa de que la pendiente de las líneas de regresión disminuye, si bien no hay que atribuir significación particular a los valores numéricos de α. (Datos inéditos de Racine y von Bertalanffy.)

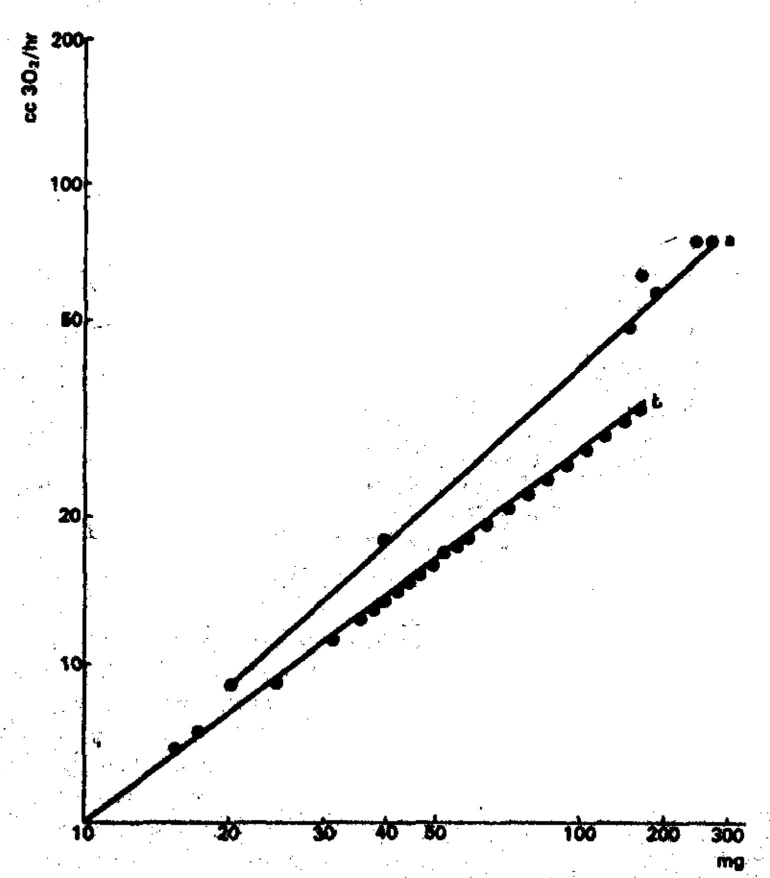


Fig. 7.6. Consumo de O_2 por larvas de *Tenebrio molitor* (20°). *a:* Larvas alimentadas; *b:* larvas sin comer durante dos días. En *b:* se combinan valores de Müller y Teissier. (Según von Bertalanffy y Müller, 1943.)

componentes de Q_{O2}, como las respiraciones de carbohidratos y grasas, llegan a tener diferentes regresiones.

Antes de dejar el tema, quisiera hacer otra observación de principio. Tenemos que convenir en que la ecuación alométrica es, cuando mucho, una aproximación simplificada. Pero es algo más que un modo conveniente de representar datos. A pesar de su carácter simplificado y de sus limitaciones matemáticas, el principio de la alometría es una expresión de la interdependencia, organización y armonización de procesos fisiológicos. Sólo por estar armonizados los procesos se mantiene vivo el organismo, y en estado uniforme.

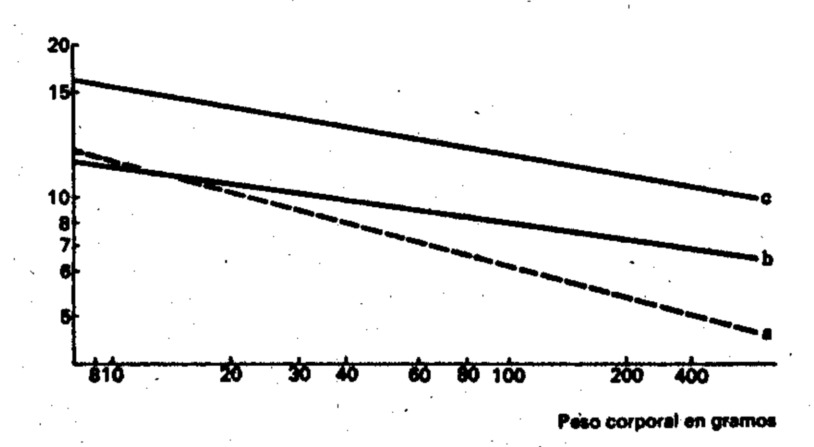


Fig. 7.7. Dependencia de Q_{o_2} del diafragma con respecto al tamaño en diferentes medios. *a:* disolución de fosfato de Krebs-Ringer; *b:* medio II de Krebs, tipo A, con glucosa; *c:* igual medio, con glucosa y metabolitos. (Según von Bertalanffy y Estwick, 1953.)

El hecho de que muchos procesos sigan alometría sencilla indica que se trata de una regla general de la armonización de procesos (Adolph, 1949): «En vista de que se ha encontrado que tantas propiedades están debidamente interrelacionadas merced a ecuaciones de una forma, parecería muy improbable que otras propiedades estuviesen relacionadas según un tipo de ecuación radicalmente diferente. De estarlo, serían incompatibles con las propiedades reseñadas.»

Más aun, si bien encontramos valores muy variados de las constantes de alometría, de fijo no son accidentales. Al menos en gran medida dependen de principios biotécnicos. Es una perogrullada en ingeniería que cualquier máquina requiere cambios de proporciones para conservar su funcionalidad si se la construye de otro tamaño, p. ej. si un modelo en pequeña escala es aumentado hasta las dimensiones deseadas. Hasta cierto punto se comprende por qué en casos particulares se dan determinados tipos de alometría, tales como dependencia con respecto a superficie, masa corporal, etc. Los estudios de Günther y Guerra (1955) y de Guerra y Günther (1957) acerca de la similaridad biológica: las relaciones entre alas de aves (Meunier, 1951), ritmo del pulso (von Bertalanffy, 1960b), peso del cerebro (von Bertalanffy y Pirozynski, 1952) y dimensiones

corporales, son ejemplos del análisis funcional de la alometría, que en mi concepto llegará a ser un importante campo para mayores indagaciones.

Teoría del crecimiento animal

El último modelo que deseo discutir es el del crecimiento honrosamente llamado ecuaciones de Bertalanffy (von Bertalanffy, 1957b, 1960b); las ideas fundamentales se remontan al gran fisiólogo alemán Pütter (1920). Tampoco aquí me interesan ante todo los detalles, ni siquiera los méritos y limitaciones del modelo; prefiero usarlo para aclarar algunos principios de la investigación cuantitativa del metabolismo.

Todos sabemos, primero, que el proceso del crecimiento es inigualablemente complicado, y segundo, que hay en el mercado numerosas fórmulas que pretenden representar satisfactoriamente los datos y curvas de crecimiento que se observan. El procedimiento general consistió en proponer una ecuación más o menos compleja y más o menos plausible; entonces el experimentador se dedicaba a calcular una serie de curvas de crecimiento con la fórmula y quedaba satisfecho si obtenía aproximación suficiente a los datos empíricos.

Aquí está la primera ilusión que hay que destruir. Matemáticamente es de sobra sabido que es posible aproximarse a casi cualquier curva si se permiten tres o más parámetros libres —es decir, si una ecuación contiene tres o más constantes que no pueden verificarse de otro modo. Esto es cierto sin que importe nada la forma particular de ecuación que se elija; la ecuación más sencilla aplicable es una serie de potencias ($y = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + ...$) llevada, digamos, hasta el término cúbico. Un cálculo así no pasa de ejercicio matemático. Siempre se puede obtener aproximación mayor introduciendo más términos.

La consecuencia es que el ajuste de curvas llega a volverse un deporte de gabinete, útil para propósitos de interpolación y extrapolación. Sin embargo, la aproximación de datos empíricos no significa verificación de las particulares expresiones matemáticas usadas. Sólo se puede hablar de verificación y de ecuaciones que representan una teoría si (1) los parámetros presentes son confirmables por experimentación independiente, y si (2) de la teoría pueden derivarse predicciones de hechos aún no observados. Es en este

sentido como voy a discutir las llamadas ecuaciones del crecimiento de Bertalanffy, por ser, que yo sepa, las únicas en este campo que aspiran a satisfacer las especificaciones que se acaban de mencionar.

La argumentación es muy sencilla. Si un organismo es un sistema abierto, su incremento o tasa de crecimiento (G.R.) puede expresarse, muy generalmente, por una ecuación de balance de la forma:

$$\frac{dw}{dt} = \text{G.R.} = \text{sínt.} - \text{deg.} + \ldots, \tag{7.4}$$

es decir que el incremento en peso es representado por la diferencia entre procesos de síntesis y degeneración de sus materiales constituyentes, más cualquier número de factores indeterminados que influyan sobre el proceso. Sin pérdida de generalidad puede suponerse también que los términos son algunas funciones indefinidas de las variables en cuestión:

$$\text{G.R.} = f_1\,(w,\,t) - f_2\,(w,\,t) + \ldots \tag{7.5}$$

Vemos ahora inmediatamente que el tiempo, t, no debe entrar en la ecuación. Pues al menos algunos procesos de crecimiento son equifinales, o sea que se alcanzan los mismos valores finales en diferentes tiempos (Fig. 6.1). Aun sin prueba matemática estricta se ve intuitivamente que esto no sería posible si la tasa de crecimiento dependiera directamente del tiempo, pues, de ser éste el caso, no podrían darse tasas diferentes en tiempos dados, como pasa en ocasiones.

En consecuencia, los términos considerados serán funciones de la masa corporal presente:

$$\text{G.R.} = f_1\,(w) - f_2\,(w), \tag{7.6}$$

si provisionalmente limitamos la consideración al más sencillo esquema de sistema abierto. El supuesto más simple posible es que los términos sean funciones tipo potencia de la masa corporal. Y de hecho sabemos empíricamente que, con gran generalidad, la dependencia de procesos fisiológicos con respecto al tamaño es susceptible de buena aproximación por medio de expresiones alométricas. Tenemos entonces:

$$\frac{dw}{dt} = \eta w^n - \varkappa w^m \tag{7.7}$$

donde η y $\varkappa$ son constantes de anabolismo y catabolismo, respectivamente, correspondiendo a la estructura general de las ecuaciones alométricas.

Consideraciones matemáticas muestran además que leves desviaciones del exponente m con respecto a la unidad no influyen gran cosa sobre la forma de las curvas obtenidas. De modo que, para mayor simplificación, pongamos $m = 1$. Esto facilita mucho las cosas matemáticamente y puede justificarse por el lado fisiológico, ya que la experiencia fisiológica —limitada, es verdad— parece indicar que el catabolismo de los materiales de construcción, especialmente las proteínas, es groseramente proporcional a la masa corporal presente.

Demos ahora un gran salto. La síntesis de materiales de construcción requiere energía que, en los animales aerobios, es suministrada por procesos de respiración celular y, a fin de cuentas, el sistema del ATP. Supongamos que hay correlaciones entre el metabolismo energético de un animal y sus procesos anabólicos. Esto es plausible en la medida en que el metabolismo energético debe, de uno u otro modo, suministrar las energías requeridas para la síntesis de componentes del cuerpo. Insertamos, pues, como dependencia del anabolismo con respecto al tamaño, la de las velocidades metabólicas ($n = \alpha$) y llegamos a la sencilla ecuación:

$$\frac{dw}{dt} = \eta w^\alpha - \varkappa w. \tag{7.8}$$

La solución de esta ecuación es:

$$w = \left\{\frac{\eta}{\varkappa} - \left(\frac{\eta}{\varkappa} - w_0^{1-\alpha}\right) e^{-(1-\alpha)\varkappa t}\right\}^{1/1-\alpha} \tag{7.9}$$

con w_0 = peso en el tiempo $t = 0$.

Empíricamente encontramos que el metabolismo en reposo de muchos animales depende de la superficie; siguen, pues, la regla de Rubner. En este caso ponemos $\alpha = 2/3$. Hay otros animales en los que depende directamente de la masa corporal, y entonces $\alpha = 1$. Por último, aparecen casos en los que la tasa metabólica cae entre las proporcionalidades con respecto a la superficie y

a la masa, esto es, $2/3 < \alpha < 1$. Llamemos por el momento «tipos metabólicos» a estas diferencias en la dependencia del metabolismo con respecto al tamaño.

Cuadro 7.4.

Tipos metabólicos y tipos de crecimiento; w, l: peso, longitud en el tiempo t; w_0, l_0: peso, longitud iniciales; w^*, l^*: peso, longitud finales; η, k: constantes de anabolismo y catabolismo. (Según von Bertalanffy, 1942.)

Tipo metabólico	*Tipo de crecimiento*	*Ecuaciones de crecimiento*	*Ejemplos*
I. Respiración *proporcional a la superficie*	(a) Curva lineal de crecimiento que alcanza *sin inflexión* un estado uniforme. (b) Curva de aumento de peso: *sigmoide* que alcanza, con inflexión hacia 1/3 del peso final un estado uniforme.	$dw/dt = \eta w^{2/3} - kw$ (a) $l = l^* - (l^* - l_0)e^{-kt/3}$ (b) $w = [\eta\sqrt[3]{w^*} - (\sqrt[3]{w^*} - w_0)e^{-kt/3}]^3$	Lamelibranquios, peces, mamíferos
II. Respiración *proporcional al peso*	Curvas de crecimiento lineal y en peso *exponenciales*, no se alcanza estado uniforme sino que el crecimiento es interceptado por metamorfosis o ciclos estacionales.	$dw/dt = \eta w - kw = cw$ (a) $l = l_0 e^{ct/3}$ (b) $w = w_0 e^{ct}$	Larvas de insectos, ortópteros, helicidae
III. Respiración *intermedia entre proporcionalidad con respecto a la superficie y al peso*	(a) Curva de crecimiento lineal que alcanza *con inflexión* un estado uniforme. (b) Curva de aumento de peso *sigmoide* similar a Ib.	$dw/dt = \eta w^n - kw$ $2/3 < n < 1$ $dl/dt = \frac{\eta l^{3n-2}}{3} - \frac{k}{3} l$	Planorbidae

Ahora bien, si introducimos los diferentes valores de α en nuestra ecuación básica, vemos en seguida que dan curvas de crecimiento muy diferentes. Denominémoslas «tipos de crecimiento». Se resumen en el cuadro 7.4; en la Fig. 7.8 figuran las correspondientes gráficas, que muestran las diferencias en comportamiento metabólico y las diferencias concomitantes en las curvas de crecimiento. En otras partes se han presentado discusiones detalladas de la teoría. Se ha mostrado que las anteriores derivaciones son aplicables en muchos casos; hay no menos de catorce argumentos diferentes que verifican la teoría (Cuadro 7.5; Figs. 7.9, 7.10). Limitaremos la presente discusión a unas cuantas observaciones de principio.

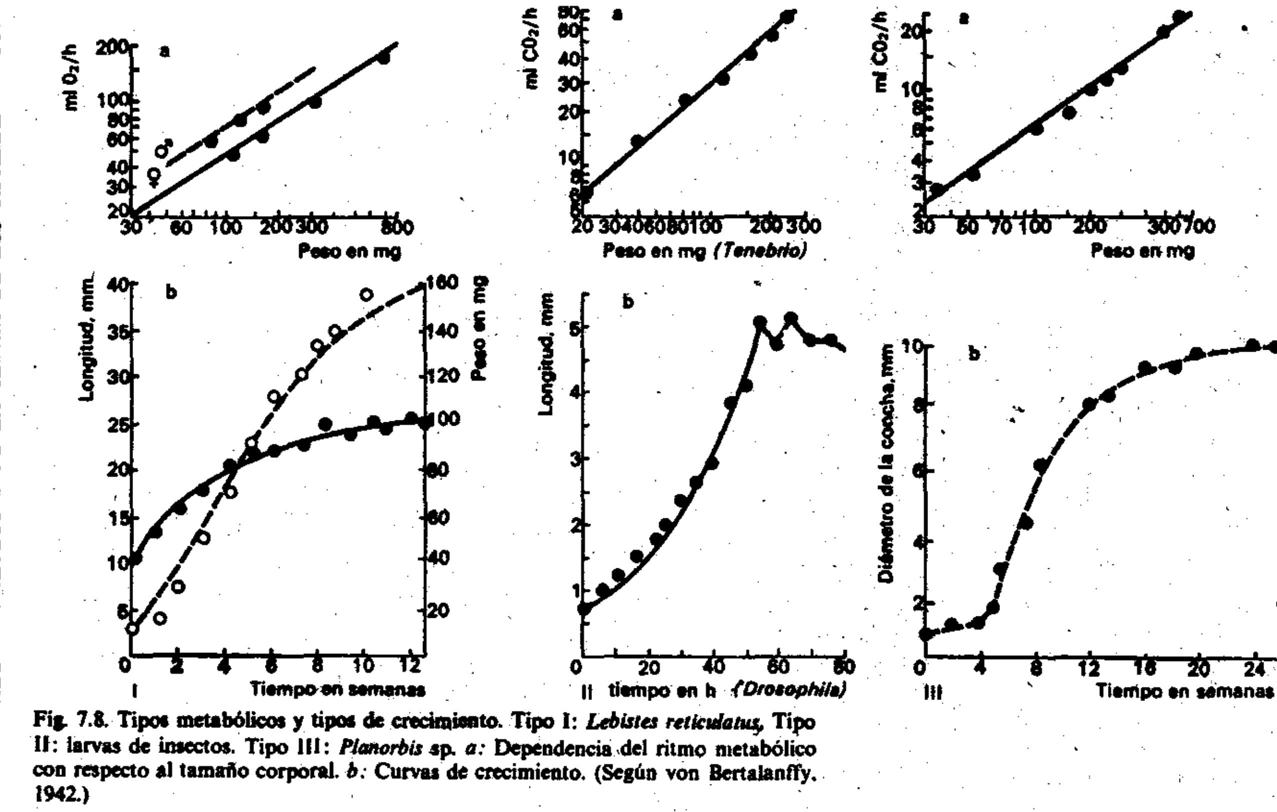


Fig. 7.8. Tipos metabólicos y tipos de crecimiento. Tipo I: *Lebistes reticulatus*, Tipo II: larvas de insectos. Tipo III: *Planorbis* sp. *a:* Dependencia del ritmo metabólico con respecto al tamaño corporal. *b:* Curvas de crecimiento. (Según von Bertalanffy, 1942.)

Cuadro 7.5

Crecimiento de *Acipenser stellatus*. (Según von Bertalanffy, 1942.)

tiempo en años	*longitud en cm* *observada*	*calculada*	k
1	21.0	21.1	
2	32.0	34.3	0.062
3	42.3	41.5	0.062
4	51.4	50.8	0.061
5	60.1	59.5	0.061
6	68.0	67.8	0.061
7	75.3	75.5	0.060
8	82.3	82.8	0.060
9	89.0	89.7	0.059
10	95.3	96.2	0.059
11	101.6	102.3	0.059
12	107.6	108.0	0.060
13	112.7	113.4	0.059
14	117.7	118.5	0.059
15	122.2	122.5	0.058
16	126.5	127.9	0.059
17	130.9	132.2	0.059
18	135.3	136.2	0.059
19	140.2	140.0	0.060
20	145.0	143.5	0.061
21	148.6	146.9	0.061
22	152.0	150.0	0.061

Ecuación de crecimiento: $l = 201.1 - (201.1 - 21.1)^{-0.06t}$. En virtud de la regularidad de las curvas de crecimiento, las ecuaciones de Bertalanffy son más adecuadas para el cálculo del crecimiento en los peces. En este ejemplo la constante de crecimiento k ($= k/3$) fue calculada de modo análogo a como se determinan constantes cinéticas en las reacciones químicas. Las variaciones de este parámetro son mínimas, lo cual muestra lo adecuado de la ecuación.

Todos los parámetros de las ecuaciones de crecimiento son experimentalmente verificables. La dependencia del ritmo metabólico con respecto al tamaño, α, determina la forma de la curva de crecimiento. Esta correlación ha sido confirmada en variados casos, como se ve en el cuadro 7.4. La constante de catabolismo, k, puede identificarse en primera aproximación con la renovación de la proteína total *(r)*, según se determina mediante indicadores isotópicos y otras técnicas. Por ej., a partir de las curvas de crecimiento

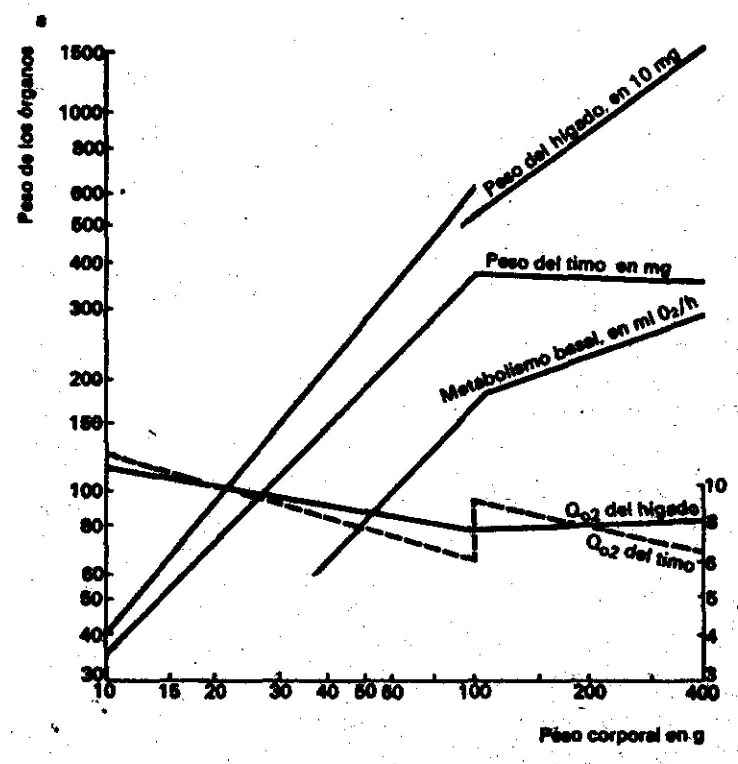


Fig. 7.9a

se calcularon tasas de 0.045/día para la rata y 1.165 g proteína/Kg de peso corporal/día para el hombre (von Bertalanffy, 1938). Las determinaciones del catabolismo proteínico disponibles en aquel tiempo no concordaban con las predicciones: la pérdida de proteína determinado por la excreción mínima de N era de 0.00282/día para la rata, según Terroine, y más o menos de 0.4-0.6 g proteína/Kg peso corporal/día para el hombre, de acuerdo con los conceptos entonces imperantes en fisiología (von Bertalanffy, 1942, pp. 180*ss*, 186-188). Resultó así una brillante confirmación de la teoría que determinaciones posteriores, usando el método isotópico (Sprinson y Rittenberg, 1949, cuadro 6.2), dieran tasas de renovación de la proteína total *(r)* de 0.04/día para la rata y de 1.3 g proteína/Kg peso corporal/día para el hombre, con pasmoso acuerdo entre los valores predichos y los experimentales. Puede señalarse de pasada

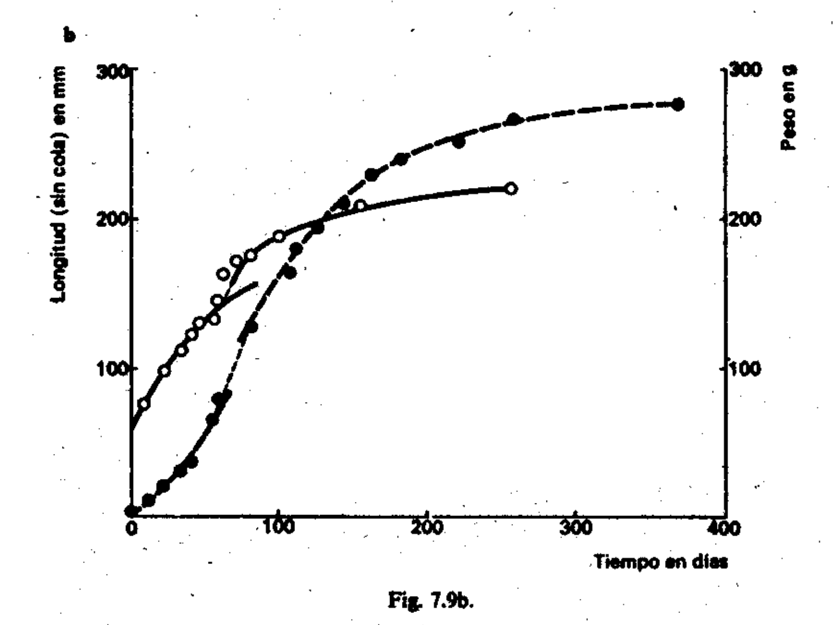


Fig. 7.9b.

Fig. 7.9. Cálculo del crecimiento de la rata blanca. Muchos procesos fisiológicos de la rata exhiben discontinuidades hacia los 100 g de peso corporal, o sea en la etapa prepuberal (*a*). Tal «ciclo» también aparece en el metabolismo (Fig. 7.4), las tasas metabólicas en animales de menos de 100 g aumentan más, y en los de tamaño superior menos de lo que correspondería según la regla de superficie. Sin embargo, si se calcula la regresión a través de toda la gama de pesos, resulta un valor próximo a 2/3 como promedio bruto. Así, en el cálculo de la curva de crecimiento (1) deben aparecer dos «ciclos» separados hacia ≈ 100 g, y (2) en primera aproximación el crecimiento de la rata debe ser calculable en las ecuaciones del «tipo I», o sea $\alpha \approx 2/3$. El cálculo de datos de crecimiento antes de las determinaciones fisiológicas (*b*) verifica ambas esperanzas. La constante catabólica (*k*) resulta, para el segundo ciclo (pospuberal), $k_{calc.} \approx 0.045$/día, en estrecha correspondencia con la renovación de proteínas determinada mediante indicadores isotópicos ($r = 0.04$/día). (Según von Bertalanffy, 1960b.)

que una estimación del tiempo de renovación del organismo humano, similar al hallado en los experimentos con isótopos ($r \approx 0.009$, $t \approx 110$ días), puede obtenerse de diferentes maneras, p. ej. a partir de la pérdida de calorías con falta de alimentos ($t = 100$ días; Dost, 1962a). La constante de anabolismo, η, es dimensionalmente compleja. Sin embargo, puede ser verificada por comparación de curvas de crecimiento de organismos afines: según la teoría, la razón

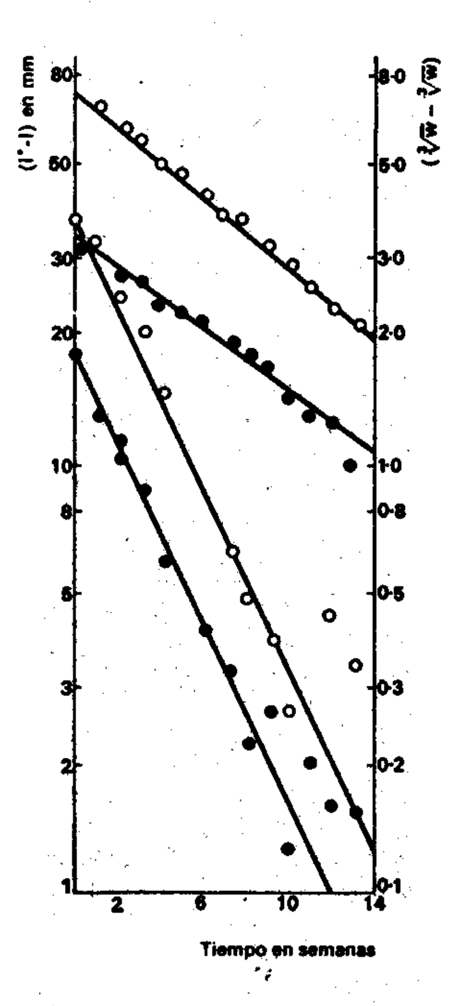


Fig. 7.10. Crecimiento de *Lebistes reticulatus*. Líneas superiores: ♂ líneas inferiores: ♀ ; peso, ● longitud. En el gupi, hay considerable diferencia entre el crecimiento de machos y hembras, éstas alcanzan un múltiplo del peso corporal de los machos. Los datos están proyectados logarítmicamente según la integral de la ecuación 7.8; el ajuste cercano muestra que las curvas de crecimiento son correctamente reproducidas. Las ecuaciones de crecimiento así obtenidas dan una razón de 1:1.5 para las constantes anabólicas η en hembras y machos. De acuerdo con la teoría, las tasas metabólicas en hembras y machos debieran mantenerse en la misma razón, 1:1.5, y así pasa en efecto (Fig. 7.8, I). (Según von Bertalanffy, 1938, 1960b.)

entre las tasas metabólicas debe corresponder a la razón entre las η de los animales considerados. También esto ha sido confirmado (Fig. 7.10).

O sea que la teoría satisface el primer postulado indicado arriba la verificación de parámetros calculados, mediante experimentos independientes. Como hemos mostrado en otra parte, también satisface el segundo postulado: predicciones hechas a partir de la teoría parecieron en un principio «sorpresas» —por tratarse de cosas desconocidas— pero posteriormente fueron confirmadas.

Viene al caso la discusión de algunas objeciones típicas, pues acaso contribuya a la mejor comprensión de los modelos matemáticos en general.

(1) El principal reproche contra los modelos y leyes para fenómenos fisiológicos los tacha de «supersimplificación». En un proceso como el crecimiento animal hay, al nivel de las células, un microcosmo de innumerables procesos de naturaleza química y física: todas las reacciones del metabolismo intermedio así como factores del tipo de la permeabilidad celular, la difusión, el transporte activo e incontables más. Al nivel de los órganos, cada tejido se comporta de modo diferente por lo que toca a la renovación y crecimiento celulares; aparte de la multiplicación de células se incluye la formación de sustancias intercelulares. El organismo en conjunto cambia de composición, con alteraciones con el contenido en proteína, el depósito de grasa o la simple incorporación de agua; el peso específico de los órganos cambia, por no hablar de la morfogénesis y la diferenciación, que hoy por hoy evaden la formulación matemática. Cualquier modelo o fórmula sencillos, ¿no violentarán la naturaleza, encajando la realidad en un lecho de Procusto y amputando sin piedad lo que se salga del molde? La respuesta es que la ciencia en general se compone en gran medida de supersimplificaciones en los modelos que emplea. Son un aspecto de la idealización que se da en toda ley o modelo de la ciencia. Ya Torricelli, discípulo de Galileo, afirmó rotundamente que si las bolas de piedra o metal no se atenían a la ley, tanto peor para ellas. El modelo atómico de Bohr fue una de las simplificaciones más arbitrarias jamás concebidas, pero aun así llegó a ser piedra angular de la física moderna. Las simplificaciones excesivas, progresivamente corregidas en el adelanto subsiguiente, representan el recurso más poderoso, si no es que el único, hacia el dominio conceptual de la naturaleza. En nuestro caso particular no es del todo correcto hablar de supersimpli-

ficación. Más bien lo que hay de por medio son *ecuaciones de balance* que pasan sobre muchos procesos complejos y en parte desconocidos. La legitimidad de semejantes balances la establece una prolongada práctica. P. ej., si hablamos de tasas de metabolismo basal y de hecho conseguimos establecer relaciones cuantitativas como la «ley de superficie», son balances lo que expresamos y no obstante, tienen importancia teórica y práctica (así p. ej. el uso diagnóstico de las tasas de metabolismo basal). Las regularidades así observadas no pueden ser refutadas mediante «consideraciones generales» sobre la supersimplificación, sino sólo empíricamente y ofreciendo mejores explicaciones. Sería fácil tornar aparentemente más realista el modelo de crecimiento y mejorar el ajuste de los datos introduciendo unos cuantos parámetros más. Mas la ganancia sería espuria, mientras dichos parámetros no fuesen comprobables experimentalmente; por las razones mencionadas, un ajuste mejor de los datos nada dice acerca de los méritos de determinada fórmula si se aumenta el número de constantes libres».

(2) Otra cuestión es la elección de parámetros. Se apuntó antes que la tasa metabólica en condiciones basales y no basales cambia no sólo de magnitud sino también con respecto a la alometría que expresa su relación con respecto al tamaño corporal. ¿Cuál es la justificación de tomar el «metabolismo en reposo» como norma y de repartir especies entre «tipos metabólicos» y «de crecimiento» de acuerdo con ello? La respuesta es emplear todas las mediciones disponibles del metabolismo —ninguna de ellas ideal—, el metabolismo en reposo parece acercarse más a las condiciones naturales que imperan durante el crecimiento. El estándar de tasa de metabolismo basal (esto es, la termoneutralidad del medio, el ayuno y el reposo muscular) hace de los valores así determinados un artificio de laboratorio (ya que al menos la primera condición no es natural), aunque sea más útil, por exhibir las tasas dispersión mínima. En los animales de sangre fría no pueden emplearse las tasas de metabolismo basal como estándar, por no haber condición de termoneutralidad, y tampoco la condición de ayuno consigue a menudo establecerse con exactitud. El metabolismo en actividad, por otra parte, cambia con el grado de acción muscular (Fig. 7.4) y el animal en crecimiento no está todo el tiempo en condiciones de actividad muscular intensa. De ahí que la tasa metabólica en reposo sea, en comparación, la mejor aproximación al estado natural, y la elección de este parámetro condujo a una teoría útil.

(3) La crítica más importante se desprende de la anterior discusión. Se dijo que parecía haber los llamados tipos metabólicos y de crecimiento, y correlaciones entre ambos. Sin embargo, antes se hizo hincapié en que los parámetros implicados, especialmente la relación entre ritmo metabólico y tamaño corporal expresada en el exponente α, podía sufrir alteraciones y cambios con, lás condiciones experimentales (Figs. 7.4-7.7). De manera similar, tampoco las curvas de crecimiento están fijadas. Experimentos en ratas han mostrado que la forma de la curva de crecimiento, incluyendo la localización y la existencia de un punto de inflexión, puede modificarse cambiando la nutrición (L. Zucker *et al.*, 1941a, 1941b, 1942; T. F. Zucker *et al.*, 1941; Dunn *et al.*, 1947; Mayer, 1948). Ninguna de las caracteristidas es rígida y, dicho sea de paso, dentro de mis conceptos biológicos propios, sería yo el último en presuponer rigidez en el orden dinámico de los procesos fisiológicos. De acuerdo con toda mi visión de la biología, más bien comulgo con el concepto heraclíteo de que lo permanente es sólo la ley y el orden del cambio.

Sin embargo, la aparente contradicción bien puede resolverse si nos mantenemos fieles al espíritu de la teoría. Lo que es realmente invariable es la organización de procesos expresada por determinadas relaciones. Esto es lo que afirma la teoría y lo que muestran los experimentos: que existen *relaciones funcionales* entre ciertos parámetros metabólicos y del crecimiento. Ello no implica que los parámetros mismos sean intercambiables, y la experimentación demuestra que no lo son. Así que, sin pérdida de generalidad, podemos concebir los «tipos metabólicos» y «de crecimiento» como casos ideales observables en ciertas condiciones mejor que como características rígidas de especies. Los «tipos metabólicos» y «de crecimiento» aparecen en los respectivos grupos de animales si se satisfacen determinadas condiciones estándar. No obstante, es claramente incorrecto decir que «la reducción de tasas metabólicas da una magnitud fundamental, que no cambia en diferentes condiciones externas» (Lehmann, 1956). En condiciones naturales o experimentales pueden desplazarse las relaciones con lo cual ocurriría una alteración correspondiente de las curvas de crecimiento. Hay señales de que tal pasa en realidad; es un problema bien definido para mayor investigación.

Un caso pertinente son los cambios estacionales. Berg (1959, 1961) confirmó en general datos previos y halló que la relación

entre tamaño y metabolismo varía estacionalmente en los caracoles: «Así, la razón entre consumo de oxígeno y tamaño corporal no es una magnitud fija, inmutable, característica de todas las especies, como supone Bertalanffy... Si [la teoría de Bertalanffy] fuese cierta, la variación estacional observada en el tipo metabólico implicaría una variación estacional en el tipo de tasa de crecimiento.»

La verdad es que hallamos precisamente esto en nuestro laboratorio hace mucho tiempo (von Bertalanffy y Müller, 1943). Se han descrito variaciones estacionales de la tasa metabólica en caracoles (Fig. 7.11a) pero, de modo correspondiente, también la curva de crecimiento (exponencial en este caso, ya que estos caracoles pertenecen al «tipo II») muestra quiebras y ciclos (Fig. 7.11b). De manera que ciertamente se trata de un problema que merece mayor investigación, pero, eso sí, los datos disponibles más bien apuntan a la confirmación que a la refutación de la teoría.

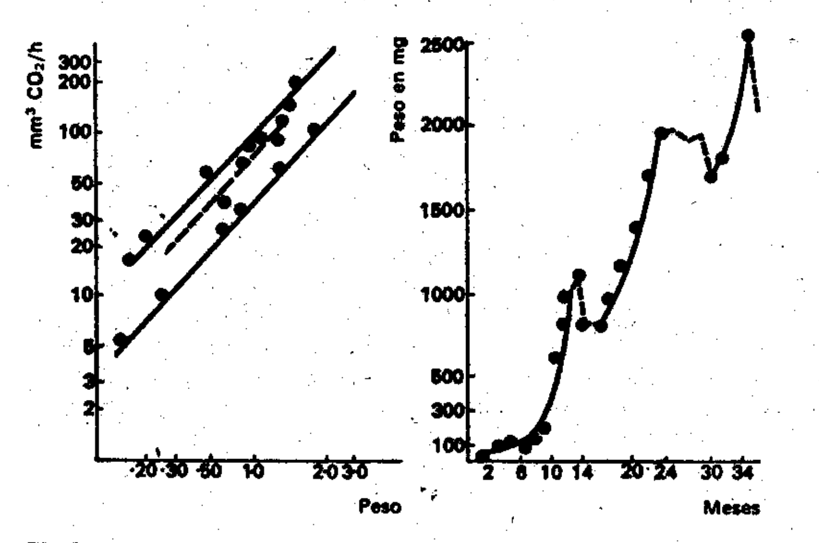


Fig. 7.11. Metabolismo y crecimiento en caracoles terrestres. *a:* Variaciones estacionales en tasas metabólicas. Las líneas de regresión muestran, de abajo arriba, el metabolismo en reposo de *Cepaea vindobonensis* inactiva poco después de hibernar a 20°, el mismo a 28°, y en un período de actividad a 20°. (Peso en g.) Iguales las demás condiciones, el metabolismo en reposo es considerablemente mayor en la estación activa que en la inactiva.

b: Crecimiento de una especie afín (*Eulota fruticum*). La curva de crecimiento es exponencial (tipo II con $\alpha \approx 1$) pero exhibe fluctuaciones estacionales. (Según von Bertalanffy y Müller, 1943.)

Mucho me habría sorprendido, y hasta lo hallaría sospechoso, que este tosco modelo inicial proporcionase una teoría concluyente. Sencillamente, no pasan cosas así, según atestiguan muchos ejemplos de la historia de la ciencia. Las leyes de Mendel fueron el comienzo de la genética, pero —con enlazamiento, entrecruzamiento cromosómico, efecto de posición y todo lo que se quiera— lo que describen las leyes clásicas no es más que una parte exigua de la experiencia genética. La ley de Galileo representa el comienzo de la física, pero sólo casos altamente idealizados —como los cuerpos que caen en el vacío— siguen de hecho la ley sencilla. Hay mucho trecho entre el sencillo modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno y la física atómica de hoy. Sería fantásticamente improbable que las cosas marcharan de otro modo a propósito de un modelo propuesto de crecimiento. Lo más que podemos decir es que lo respalda un volumen considerable de testimonios experimentales, que ha demostrado tener virtudes explicativas y predictivas y que ofrece problemas bien definidos para llevar adelante la investigación.

Es obvio que la teoría sólo ha sido elaborada para un número reducido de casos, en virtud de la cantidad limitada de buenos datos y de tanto tiempo que consumen tanto la observación como el cálculo del crecimiento. Hemmingsen (1960) lo ha dicho claro: «Con *n* variando tanto como muestran los ejemplos, dentro de cualquier grupo con tipo de crecimiento pretendidamente (o cuando menos al principio pretendidamente) uniforme, se diría que es imposible aceptar las generalizaciones de Bertalanffy a menos que consiga demostrarse una correlación estadísticamente significativa entre *n* y el tipo de crecimiento, en un número de ejemplos muy superior a los pocos que Bertalanffy ha publicado repetidamente.» Estoy por completo de acuerdo con esta crítica; serían deseables muchos más datos, aunque no conviene saltarse con desenvoltura los que se ofrecieron en confirmación de la teoría, aunque fuera hace unos 20 años. Yo retocaría la crítica de Hemmingsen sugiriendo un nuevo examen sobre una base más amplia. Habría que incluir cuando menos los siguientes puntos: análisis de gran número de datos sobre el crecimiento, posible ahora gracias a las computadoras electrónicas; determinación concurrente de la dependencia del metabolismo en reposo con respecto al tamaño (constante α) en estos casos; determinación del catabolismo proteínico (constante k); determinación, en especies relacionadas, de las razones entre los exponentes alométricos de las tasas metabólicas y las razones teóricamente

idénticas entre las constantes anabólicas (η). Son todos éstos problemas de investigación interesantes y un tanto descuidados, y con sólo que el modelo los ponga de manifiesto, ya habrá demostrado su provecho.

Tal investigación quizás aporte confirmación adicional al modelo, acaso lleve a modificarlo y elaborarlo tomando en cuenta más factores, o a lo mejor hay que abandonarlo del todo y reemplazarlo por otro más bueno. Ni en el último de estos casos me sentiría despechado. Precisamente para eso son los modelos —para servir de hipótesis de trabajo en investigaciones posteriores.

Lo que he tratado de mostrar en los modelos discutidos han sido modos generales de análisis de los datos cuantitativos. Quise dejar claras tanto la utilidad como las limitaciones de semejantes modelos. Todo modelo debe ser investigado de acuerdo con su mérito, considerando las explicaciones y predicciones que permita. La crítica general no sirve de nada, y la decisión de si un modelo convendrá o no, reposa exclusivamente en hechos de observación y experimentación. Por otro lado, no hay que tener ningún modelo por concluyente; en el mejor de los casos será una aproximación por elaborar y corregir poco a poco. En la estrecha interacción entre experimento y conceptualización, pero sin confinarse a la experimentación ni a la construcción de modelos puramente especulativos, está el venidero progreso en un campo como el de la biología cuantitativa del metabolismo.

Resumen

(1) Se repasaron las teorías de los sistemas abiertos, la retroalimentación, la alometría y el crecimiento según von Bertalanffy, por lo que respecta a sus aplicaciones experimentales.

(2) Tanto el modelo de sistema abierto como el de retroalimentación se aplican a una vasta gama de fenómenos en fisiología, y representan expansiones esenciales de la teoría física. Las dos concepciones deben ser nítidamente diferenciadas; el modelo de retroalimentación (homeostasia) no debe considerarse una panacea para la regulación fisiológica en general, ni identificarse con la «teoría de los sistemas».

(3) La ecuación alométrica representa la relación más sencilla posible entre las dimensiones del cuerpo y los procesos metabólicos. Tiene amplia aplicación y expresa la armonización de procesos en

sistemas vivientes. Sin embargo, no hay ley «de superficie» o «de exponente 3/4» o «de reducción progresiva de ritmos metabólicos». La relación alométrica varía mucho en los fenómenos fisiológicos.

(4) Pueden darse variaciones de la relación entre tamaño corporal y tasa metabólica *a*) en diferentes tejidos o en diferentes especies, *b*) a causa de cambios en las condiciones fisiológicas, *c*) en virtud de diferentes planes experimentales. Entre las condiciones que alteran esta relación hay factores como las actividades fisiológicas, el sexo, la estación, la aclimatación previa, etc.

(5) La dependencia del metabolismo total con respecto al tamaño en los mamíferos es diferente en condiciones basales, en un medio no termoneutro y en condiciones de actividad muscular. Las variaciones siguen la regla de Locker, o sea que con un incremento absoluto de la tasa metabólica (según lo expresa la constante *b* de la ecuación alométrica), la regresión con respecto al tamaño corporal (según lo expresa la pendiente de la línea alométrica, α) tiende a disminuir.

(6) La ecuación de crecimiento según Bertalanffy representa un modelo muy simplificado que, sin embargo, cubre muchos problemas y regularidades encontrados en la fisiología del metabolismo y el crecimiento. Los parámetros que se presentan en estas ecuaciones han sido verificados por experiencias fisiológicas en muchos casos.

(7) En vista de los cambios en la relación entre tamaño y metabolismo mencionados en (5), los llamados tipos metabólicos y de crecimiento de Bertalanffy deben ser considerados casos ideales realizables en determinadas condiciones estándar, más bien que características invariables de las especies o del grupo de especies que se consideren.

(8) Parece haber correspondencia entre las variaciones estacionales de las tasas metabólicas y las tasas de crecimiento.

(9) Se esbozan problemas urgentes que plantea a la investigación cada uno de los modelos básicos.

VIII. El concepto de sistema en las ciencias del hombre

La revolución organísmica

En un famoso pasaje de la *Crítica de la razón práctica,* Kant afirmó que dos cosas lo llenaban de indescriptible reverencia: el cielo estrellado sobre la frente y la ley moral en el corazón. Los tiempos de Kant eran los del apogeo del clasicismo alemán. En unas cuantas décadas, antes y después de 1800, se apiñan los grandes poetas, escritores y filósofos alemanes, y la filosofía kantiana fue la síntesis culminante de la ciencia física, según venía desarrollándose desde Galileo y Newton.

Al reflexionar sobre las palabras de Kant se nos ocurre algo. Entre las cosas que pudo sentir como objetos de reverencia, bien pudo incluir algo más: no menciona la *vida,* tanto como organización milagrosa del organismo vivo y como microcosmo mental que abarca el universo físico.

No es difícil explicarse la omisión kantiana. La física se acercaba a uno de sus puntos culminantes, al cual el propio Kant contribuyó con sus labores acerca del origen del sistema solar; la ley moral tenía una dilatada historia en la tradición griega y judeocristiana. En contraste, apenas se iniciaba el desarrollo de las ciencias de la biología y la psicología.

En los aproximadamente 180 años transcurridos desde que escribía Kant se han visto la Revolución Industrial y, hace poco, la revolución atómica, la revolución de la automación y la conquista del espacio. Pero parece haber una interrupción. Los pasmosos adelantos tecnológicos y la sociedad rica que vive al menos en algunas par-

tes del globo nos han dejado con angustia y sentimiento de falta de significación. La física, con todos sus estupendos ahondamientos modernos, no tiene la estructura límpida como el cristal que creía Kant. El imperativo moral kantiano, aun suponiéndolo no desgastado, sería demasiado sencillo para un mundo tan complejo. Incluso aparte de la amenaza de aniquilación física, cunde el sentimiento de que nuestra visión del mundo y nuestro sistema de valores se están viniendo abajo ante un nihilismo que Nietzsche previó proféticamente cuando iba a cambiar el siglo.

Considerada a la luz de la historia, nuestra tecnología y hasta nuestra sociedad se fundan en una imagen fisicalista del mundo que halló temprana síntesis en la obra de Kant. La física sigue siendo el parangón de la ciencia, la base de nuestra idea de la sociedad y de nuestra imagen del hombre.

Mientras tanto, sin embargo, han surgido nuevas ciencias, las de la vida, el comportamiento y sociales. Piden un lugar en una visión moderna del mundo y deben lograr contribuir a una reorientación básica. Menos divulgada que las revoluciones contemporáneas en la tecnología, pero igualmente preñada de futuras posibilidades, es una revolución que se basa en modernos adelantos en la ciencia biológica y del comportamiento. Llamémosla, en dos palabras, *revolución organísmica*. Su meollo es la noción de *sistema* —en apariencia un concepto pálido, abstracto y vacío; pleno, sin embargo, de sentido oculto, de levadura y de potencialidades explosivas.

Los alcances de la nueva concepción pueden epitomizarse en un breve enunciado. El siglo XIX y la primera mitad del XX concibieron *el mundo como caos*. Caos era el tan mentado juego ciego de átomos que, en la filosofía mecanicista y positivista, parecía representar la realidad última, con la vida cual producto accidental de procesos físicos y la mente como epifenómeno. De caos se trataba cuando, en la teoría actual de la evolución, el mundo viviente aparecía como producto de la casualidad, fruto de mutaciones al azar y de supervivencia en el apuro de la selección natural. De la misma manera, en las teorías del conductismo así como del psicoanálisis, la personalidad humana era considerada como producto casual de «natura y nurtura», de una mezcla de genes y una sucesión accidental de acontecimientos desde la primera infancia hasta la madurez.

Ahora buscamos otro modo esencial de ver el mundo: *el mundo como organización*. Semejante concepción —de poder ser sustancia-

da— cambiaría por cierto las categorías básicas que sustentan el pensamiento científico e influiría profundamente sobre las actitudes prácticas.

Esta tendencia está señalada por el surgimiento de un haz de nuevas disciplinas como la cibernética, la teoría de la información, la teoría general de los sistemas, la teoría de los juegos, de la decisión, de las colas, y otras; en la aplicación práctica están el análisis de sistemas, la ingeniería de sistemas, la investigación de operaciones, etc. Difieren en supuestos primordiales, técnicas matemáticas y metas, y con frecuencia resultan insatisfactorias y hasta contradictorias. Coinciden, no obstante, en ocuparse, de una u otra manera, de «sistemas», «totalidades» u «organización», y en conjunto anuncian un nuevo enfoque.

La imagen del hombre en el pensamiento contemporáneo

¿Con qué pueden contribuir estos adelantos a las ciencias del hombre? El estado insatisfactorio de la teoría psicológica contemporánea es lugar común. Se diría un revoltijo de teorías contradictorias que van del conductismo, que no ve diferencia entre el comportamiento humano y el de las ratas de laboratorio (y, lo que es más importante, los ingenieros representan la conducta humana según la de las ratas), hasta el existencialismo, para el cual la situación humana cae más allá de la comprensión científica. La variedad de concepciones y enfoques sería harto saludable, de no ser por un hecho turbador. Todas estas teorías comparten una «imagen del hombre» originada en el universo físico-tecnológico, —dada por descontada en teorías, de otro modo antagónicas, como el conductismo, los modelos computerizados de los procesos cognoscitivos y la conducta, el psicoanálisis y aun el existencialismo— y que es demostrablemente falsa. Se trata del modelo de robot para el comportamiento humano.

Por supuesto, es cierto que hay un número considerable de tendencias hacia nuevas concepciones, apremiadas por la idea de que el modelo de robot es teóricamente inadecuado visto a la luz de los hechos empíricos, y peligroso en la práctica en su aplicación a la «ingeniería del comportamiento». Con todo, pese a que los conceptos centrados en el robot son denunciados con frecuencia, solapada o abiertamente, siguen preponderando en la

investigación y la teoría psicológicas y en la ingeniería. Merecen, pues, breve consideración ya en este punto.

Un concepto principal es el *esquema de estímulo-respuesta*, o esquema E-R, para abreviar. Se considera que el comportamiento, animal y humano, es respuesta a estímulos llegados del exterior. En parte, el estímulo-respuesta se basa en mecanismos neuronales heredados, como en los reflejos y la conducta instintiva. La parte más importante, por lo que al comportamiento humano respecta, son respuestas adquiridas o condicionadas. Puede ser cosa de condicionamiento clásico, por repetición de la sucesión de estímulos condicionales e incondicionales de acuerdo con Pavlov. Puede tratarse de condicionamiento operante por reforzamiento de las respuestas atinadas, según Skinner. Acaso sean experiencias tempranas de la infancia si hacemos caso a Freud, empezando por el adiestramiento en hábitos de limpieza y otros procedimientos merced a los cuales es reforzado el comportamiento socialmente aceptable, pero también se pueden establecer complejos psicopatológicos. Esto entonces domina la ingeniería psicológica. El aprendizaje escolar es mejor realizado gracias a máquinas de enseñar construidas siguiendo principios skinnerianos. El condicionamiento con trasfondo psicoanalítico hace que sigan girando las ruedas de la libre empresa. La propaganda, la investigación de motivaciones, la radio y la televisión son maneras de condicionar o programar la máquina humana de manera que compre lo que debe comprar: el detergente envuelto en el color más vivo, el refrigerador más grande como símbolo del vientre materno, o el candidato político que gobierna la máquina de partido más eficiente.

La cosa es que las reglas descubiertas por los teóricos del aprendizaje, luego de experimentos en animales, se supone que cubren el total de la conducta humana. Para Skinner, por ejemplo, el «comportamiento verbal» del niño es supuestamente adquirido por el mismo proceso de condicionamiento operante merced al cual las ratas y palomas de Skinner aprenden sus menudos trucos con el aliciente de pedacitos de comida como premio a las respuestas correctas. Según señaló un crítico agudo (Chomsky, 1959), se supone que los padres enseñan a sus hijos a andar y a hablar porque su comportamiento de enseñanza es reforzado por gratificación: seguramente más tarde los hijos harán algún dinero vendiendo periódicos o avisarán a los progenitores cuando les llamen por

teléfono. Versiones más rebuscadas de este esquema no alteran su esencia.

Otro principio es el del *ambientalismo,* que afirma, concorde con el sistema E-R, que la conducta y la personalidad son conformadas por influencias externas. La expresión famosa se debe a Watson: denme un puñado de chiquillos —decía el fundador del conductismo— como estén, y haré de ellos médicos, abogados, negociantes, mendigos o ladrones, por el solo poder del condicionamiento. El mismo principio está en juego cuando el psicoanálisis afirma que la personalidad se forma por la experiencia de la primera niñez, especialmente de naturaleza sexual. En formulación más general, el cerebro humano es una computadora que puede ser programada a voluntad. La consecuencia práctica es que los seres humanos *no* nacen sólo con iguales derechos sino con iguales capacidades. De ahí nuestro interés casi patológico en los anormales, los enfermos mentales y los criminales declarados, quienes, por recondicionamiento oportuno, deben ser devueltos al redil, a menudo en detrimento de la consideración debida a los sanos, normales o superiores. De ahí también la creencia de que el dinero lo compra todo: si los rusos construyen mejores vehículos espaciales, unos cuantos miles de millones más dedicados a la educación producirán la cosecha de pequeños Einstein necesaria para salvar la brecha.

El tercero es el *principio de equilibrio*. Formulado freudianamente, es el «principio de estabilidad»: la función básica del aparato mental consiste en mantener el equilibrio homeostático. La conducta es esencialmente reducción de tensiones, particularmente las de naturaleza sexual. Si se les alivian las tensiones mediante la promiscuidad y otros recursos, se tendrán seres humanos normales y satisfechos.

En cuarto lugar, el comportamiento es gobernado por el *principio de economía.* Es *utilitario* y debe ser realizado del modo más económico, esto es, con el mínimo gasto de energía mental o vital. En la práctica, el principio económico equivale al postulado de las demandas mínimas: p. ej., redúzcanse las exigencias escolares al mínimo necesario para llegar a ser ejecutivo, ingeniero electrónico o fontanero, que de otra suerte se tuerce la personalidad, se crean tensiones y se genera un ser desdichado.

La presente crisis de la psicología (que, dicho sea de paso, lleva ya unos 30 años) puede resumirse asimilándola a la lenta erosión del modelo del hombre como robot, que hasta años recientes dominaba la psicología, particularmente en los Estados Unidos.

Merecen volverse a subrayar dos puntos. Primero, el modelo del hombre como robot ha sido inherente a todos los campos de la psicología y la psicopatología, y a teorías y sistemas por lo demás diferentes o antagónicos: a la teoría de E-R del comportamiento, a la teoría cognoscitiva en lo que ha sido llamado el «dogma de la inmaculada percepción», a las teorías del aprendizaje —pavlovianas, skinnerianas o con variables de por medio—, a diversas teorías de la personalidad, al conductismo, el psicoanálisis, los conceptos cibernéticos en neurofisiología y en psicología, y así sucesivamente. Más aun, el «hombre como robot» fue tanto expresión como fuerza motriz del *Zeitgeist* de una sociedad mecanizada y comercializada; ayudó a hacer de la psicología la sirvienta de intereses pecuniarios y políticos. La meta de la psicología manipuladora es hacer a los humanos más parecidos a robot o autómatas, lo cual se logra por aprendizaje mecanizado, técnicas de anuncio, medios de masas, investigación de motivaciones y lavado de cerebro.

No obstante, estos supuestos previos son espurios. Quiere esto decir que las teorías del condicionamiento y el aprendizaje describen correctamente una importante parte o aspecto de la conducta humana, pero tomadas como teorías del «nada sino» se tornan ostensiblemente falsas y arruinan su propia aplicación. La imagen del hombre como robot es metafísica o mito y su fuerza persuasiva descansa sólo en el hecho de que corresponda tan de cerca a la mitología de la sociedad de masas, la glorificación de la máquina y el beneficio como exclusivo motor del progreso.

La observación no torcida demuestra con facilidad lo espurio de estos supuestos básicos. El esquema de E-R deja fuera la gran parte del comportamiento que es expresión de actividades espontáneas como el juego, la conducta exploratoria y cualquier forma de creatividad. El ambientalismo es refutado por el hecho elemental de que ni siquiera las moscas de la fruta o los perros pavlovianos son iguales, como debiera saber quienquiera que estudiase la herencia o el comportamiento. Biológicamente, la vida no es mantenimiento o restauración de equilibrio sino más bien mantenimiento de desequilibrios, según revela la doctrina del organismo como sistema abierto. Alcanzar el equilibrio significa muerte y descomposición consiguiente. Psicológicamente, el comportamiento no sólo tiende a aflojar tensiones sino que también las establece; si esto se detiene, el paciente es un cadáver mental en descomposición, lo mismo que un organismo vivo se vuelve cuerpo en putrefacción cuando se inte-

rrumpen las tensiones y fuerzas que lo apartan del equilibrio. Los delincuentes juveniles que cometen crímenes para divertirse, una nueva psicopatología resultante del exceso de ocio, la mitad de los residentes en nuestros hospitales para enfermos mentales: todo es prueba de que el esquema de adaptación, ajuste, conformidad y equilibrio psicológico y social no funciona. Hay una extensa gama de comportamiento —y es de suponerse que de evolución también— que no puede ser reducida a principios utilitarios de adaptación del individuo y supervivencia de la especie. La escultura griega, la pintura renacentista, la música alemana —cualquier aspecto de la cultura— no tienen nada que ver con la utilidad o con la mejor supervivencia de individuos o naciones. Al señor Fulánez le va mejor, desde el punto de vista utilitario, que a Beethoven o a Miguel Angel.

Asimismo el principio del *stress*, invocado tantas veces en psicología, psiquiatría y psicosomática, requiere alguna reevaluación. Al igual que todo en el mundo, lo del *stress* es algo ambivalente. El *stress* no es sólo un peligro para la vida que haya que combatir y neutralizar mediante mecanismos adaptativos; también crea vida superior. Si, luego de ser perturbada desde fuera, la vida volviera ni más ni menos que a lo que se llama equilibrio homeostático, nunca habría progresado más allá de la amiba; que después de todo es el animal mejor adaptado del mundo puesto que ha sobrevivido miles de millones de años, desde el océano primordial hasta este día. Miguel Angel, cumpliendo con los preceptos de la psicología, debió haber seguido lo que su padre le pedía y dedicarse al comercio de la lana, ahorrándose de por vida la angustia, aunque la Capilla Sixtina quedase sin adornar.

Selye escribió: «El secreto de la salud y la felicidad reside en la adaptación afortunada a las condiciones siempre cambiantes del globo; lo que se paga si se yerra en este gran proceso de adaptación, es enfermedad e infelicidad» (1956, p. vii). Habla mundanamente y en un sentido tiene razón, pero tomado al pie de la letra estaría negando toda actividad creadora y cultural que, en cierta medida, lo ha hecho ser algo más que los animales de la selva. Considerada como adaptación, la creatividad es un fracaso, una enfermedad y una desdicha; el historiador de la cultura vienés Egon Friedell (1927-31) es autor de un brillante análisis al respecto. La máxima del ajuste, el equilibrio y la homeostasia no puede ser seguida por quienquiera que traiga al mundo así no sea más que una idea; incluyendo al propio Selye, quien de fijo habrá pagado por hacerlo.

La vida no es un instalarse a gusto entre las arboledas preordenadas del ser. Es, en el mejor de los casos, un *élan vital* inexorablemente empujado hacia una forma superior de existencia. Esto es metafísica y símil poético, ni que decir tiene, pero al fin y al cabo así es cualquier imagen que tratemos de formarnos acerca de las fuerzas impulsoras del universo.

Reorientación según la teoría de los sistemas

Es por este rumbo por donde parece estar surgiendo un nuevo modelo o imagen del hombre. Se diría, en pocas palabras, que es el modelo del hombre como *sistema activo de personalidad*. Se trata sin duda del común denominador de muchas corrientes, distintas por lo demás, tales como la psicología del desarrollo de Piaget y Werner, varias escuelas neofreudianas, la psicología del yo, el nuevo punto de vista sobre la percepción, la obra reciente sobre la cognición, las teorías de la personalidad tales como las de G. Allport y Maslow, nuevos enfoques en la psicología de la educación, la psicología existencial, etc.

Esto implica una orientación holista en psicología. Solía tenderse en general, a reducir los acontecimientos mentales y el comportamiento a un manojo de sensaciones, pulsiones, reacciones innatas y aprendidas, o cualesquiera elementos últimos fuesen presupuestos teóricamente. En contraste, el concepto de sistema procura poner al organismo psicofisiológico, como un todo, bajo la lente del examen científico.

Así, resulta necesario un nuevo «modelo del hombre», y en verdad va surgiendo lentamente de tendencias recientes en psicología humanística y organísmica. El hincapié en el lado creador de los seres humanos, en la importancia de las diferencias individuales, en aspectos que no son utilitarios y están más allá de los valores biológicos de subsistencia y supervivencia; todo esto y más está implícito en el modelo del organismo activo. Estas nociones son fundamentales en la reorientación de la psicología que se está presenciando hoy; de ahí el creciente interés que despierta la teoría general de los sistemas en psicología y especialmente en psiquiatría.

En contraste con el modelo del organismo reactivo expresado por el esquema de E-R —la conducta como satisfacción de necesidades, relajamiento de tensiones, restablecimiento del equilibrio homeostático, interpretaciones utilitarias y ambientalistas, etc.—, prefe-

rimos considerar el organismo psicofísico como un sistema primariamente activo. Creo que no hay otra manera de considerar las actividades humanas. Por mi parte, soy incapaz de ver, p. ej., cómo las actividades culturales y creadoras de toda índole pueden considerarse «respuestas a estímulos», «satisfacción de necesidades biológicas», «restablecimiento de la homeostasia», y así por el estilo. No tiene aire muy «homeostático» el hombre de negocios que lleva adelante su frenética actividad a pesar de las úlceras que le están dando, ni la humanidad inventando superbombas a fin de satisfacer «necesidades biológicas».

El concepto se aplica no sólo a los aspectos de la conducta sino a los de la cognición. Será correcto afirmar que es tendencia general en la psicología y la psiquiatría modernas, apoyada por discernimiento biológico, reconocer la parte activa en el proceso cognoscitivo. El hombre no es un receptor pasivo de estímulos que le llegan del mundo externo, sino que, en un sentido muy concreto, *crea* su universo. También esto puede expresarse de muchos modos: en la reconstrucción freudiana de cómo se va constituyendo el «mundo» en el niño; en términos de psicología del desarrollo según Piaget, Werner o Schachtel; en términos del nuevo punto de vista en percepción, que subraya actitudes, factores afectivos y motivacionales; en psicología de la cognición por el análisis del «aprendizaje significativo» según Ausubel; en el contexto zoológico aludiendo a la *umwelt*, específica según la especie, de von Uexküll; filosófica y lingüísticamente, en las «formas simbólicas» y categorías dependientes de la cultura, de Cassirer; en los testimonios presentados por von Humboldt y Whorf sobre los factores lingüísticos (o sea simbólicos y culturales) en la formación del universo experimentado. «El mundo tal como lo experimentamos es producto de la percepción, no causa de ella» (Cantril, 1962).

Semejante lista no es en modo alguno completa, pero ilustra diferentes enfoques que iluminan varios aspectos o facetas que tarde o temprano deberán sintetizarse. Hay consenso, sin embargo, en la concepción general. De hecho, si el organismo fuera una cámara y la cognición una especie de imagen fotográfica del mundo externo, sería difícil comprender por qué el proceso cognoscitivo sigue el camino desviado que tan admirablemente describió Arieti (1965), pasando por universos fantasmales, míticos y mágicos, hasta parar en la visión pretendidamente «objetiva» del estadounidense medio y de la ciencia occidental.

Tal nueva «imagen del mundo», que reemplaza el concepto de robot por el de sistema, subrayando la actividad inmanente en lugar de la reactividad dirigida hacia afuera, y reconoce la especificidad de la cultura humana en comparación con la conducta animal, habrá de conducir a una reevaluación a fondo de problemas de educación, adiestramiento, psicoterapia y actitudes humanas en general.

Los sistemas en las ciencias sociales

Finalmente, debemos buscar la aplicación del concepto de sistema en los ámbitos más vastos posibles, así los grupos humanos, las sociedades y la humanidad en conjunto.

Con fines de discusión, entendamos «ciencia social» en sentido amplio, incluyendo sociología, economía, ciencia política, psicología social, antropología cultural, lingüística, buena parte de la historia y las humanidades, etc. Entendamos «ciencia» como empresa nomotética, es decir, no como descripción de singularidades sino como ordenación de hechos y elaboración de generalidades.

Presuponiendo estas definiciones, en mi opinión puede afirmarse con gran confianza que *la ciencia social es la ciencia de los sistemas sociales*. Por esta razón deberá seguir el enfoque de la ciencia general de los sistemas.

Se diría que esta afirmación es casi trivial, y es difícil negar que las «teorías sociológicas contemporáneas» (Sorokin, 1928, 1966) y aun su desarrollo a través de la historia *siguieron* este programa. Sin embargo, el estudio propiamente dicho de los sistemas sociales contrasta con dos concepciones muy difundidas: primero, con el atomismo, que descuida el estudio de las «relaciones»; segundo, con puntos de vista que desdeñan la especificidad de los sistemas en cuestión, como la «física social» tantas veces intentada con ánimo reduccionista. Esto sugiere algunos comentarios.

La investigación de los sistemas de organismos es extensa. Forma una parte importante de la biología, en el estudio de comunidades y sociedades de animales y plantas, su crecimiento, competencia, lucha por la existencia, etc., tanto en el aspecto ecológico como en el genético. Hay facetas de las sociedades humanas que se prestan a consideraciones similares; no sólo cuestiones tan evidentes como la multiplicación de las poblaciones humanas, sino también

las carreras armamentistas y los conflictos bélicos que, de acuerdo con Richardson y otros, son susceptibles de ser englobados en ecuaciones diferenciales parecidas a las usadas en ecología y que, aunque simplificadas en demasía, proporcionan cierto grado de explicación y hasta de predicción. La difusión de rumores puede describirse mediante ecuaciones de difusión generalizadas; las corrientes de tránsito automóvil son analizables merced a consideraciones correspondientes formalmente a la cinética y la termodinámica. Tales casos son aplicaciones bastante típicas y rectilíneas de la teoría general de los sistemas. Con todo, no es esto sino parte del problema.

La sociología con sus campos anejos es en esencia el estudio de grupos o sistemas humanos, desde grupos reducidos como la familia o el grupo de trabajo, pasando por innumerables grados intermedios de organizaciones informales y formales, hasta las mayores unidades como las naciones, los bloques de poder y las relaciones internacionales. Los numerosos intentos de dar formulaciones teóricas son todos elaboraciones del concepto de sistema o de algún sinónimo. A fin de cuentas, el problema de la historia humana se cierne como la aplicación más vasta posible de la idea de sistema.

Los conceptos y teorías proporcionados por el moderno enfoque de sistemas van introduciéndose cada vez más en la sociología, así los conceptos de sistema general, de retroalimentación, de información, comunicación, etc.

La teoría sociológica del presente consiste en gran medida en intentos de definir el «sistema» sociocultural y en discutir el funcionalismo, es decir, la consideración de los fenómenos sociales con respecto al «todo» al que sirven. Por un lado, la caracterización por Sorokin del sistema sociocultural como causal-lógico-significativo (según preferiría designarlo el presente autor, sin mucho rigor; son los niveles biológico, simbólico y de valor) parece ser la que expresa mejor los múltiples aspectos, complejamente interconectados.

La teoría funcionalista ha recibido varias expresiones, como las representadas por Parsons, Merton y otros muchos; el reciente libro de Demerath y Peterson (1968) expone muy bien las varias corrientes. La principal crítica al funcionalismo, particularmente en la versión de Parsons, es que insiste demasiado en el mantenimiento, el equilibrio, el ajuste, la homeostasia, las estructuras institucionales estables, y así sucesivamente, con el resultado de que la historia, el proceso, el cambio sociocultural, el desenvolvimiento dirigido desde adentro, etc., quedan en mala posición y aparecen, si acaso,

como «desviaciones» con una connotación de valor negativa. De modo que la teoría parece ser de conservadurismo y conformismo, que defiende el «sistema» (o la megamáquina de la sociedad presente, como dice Mumford) como es, descuidando conceptualmente el cambio social y así estorbándolo. Es claro que la teoría general de los sistemas en la forma aquí preconizada está a salvo de esta objeción, ya que incorpora por igual mantenimiento y cambio, preservación del sistema y conflicto interno; convendrá, pues, como esqueleto lógico para una teoría sociológica mejorada (cf. Buckley, 1967).

La aplicación práctica —en el análisis y la ingeniería de sistemas— de la teoría de los sistemas a problemas que se presentan en los negocios, el gobierno o la política internacional, demuestra que el procedimiento «funciona» y conduce tanto a comprensión como a predicciones. Muestra, en especial, que el enfoque de sistemas no se limita a entidades materiales en física, biología y otras ciencias naturales, sino que es aplicable a entidades que son en parte inmateriales y heterogéneas en alto grado. El análisis de sistemas, p. ej., de una empresa de negocios incluye hombres, máquinas, edificios, entrada de materia prima, salida de productos, valores monetarios, buena voluntad y otros imponderables; da respuestas definidas y recomendaciones prácticas.

Las dificultades no están sólo en la complejidad de los fenómenos sino en la definición de las entidades consideradas.

Al menos parte de la dificultad queda expresada en el hecho de que las ciencias sociales se ocupen de sistemas «socioculturales». Los grupos humanos, desde los más reducidos —amistades personales, familia— hasta los máximos —naciones y civilizaciones—, no son nada más fruto de «fuerzas» sociales presentes, aunque sea en forma primitiva, en organismos subhumanos; son parte de un universo creado por el hombre y que se llama cultura.

La ciencia natural tiene que ver con entidades físicas en el tiempo y el espacio, con partículas, átomos y moléculas, sistemas vivientes en varios niveles, según el caso. La ciencia social se las ve con seres humanos en el universo de cultura creado por ellos. El universo cultural es ante todo un universo simbólico. Los animales están rodeados de un universo *físico* al cual se enfrentan: medio físico, presa que atrapar, predadores que evitar, y así sucesivamente. En cambio al hombre lo rodea un universo de símbolos. Partiendo del lenguaje, condición previa de la cultura, hasta relaciones simbóli-

cas con sus semejantes, status social, leyes, ciencia, arte, moral, religión y otras innumerables cosas, la conducta humana, aparte los aspectos básicos de las necesidades biológicas del hambre y el sexo, está gobernada por entidades simbólicas.

Podemos también decir que el hombre tiene valores que son más que biológicos y que trascienden la esfera del mundo físico. Estos valores culturales acaso sean biológicamente impertinentes y hasta perniciosos: es difícil, p. ej., figurarse que la música tenga el menor valor adaptativo o de supervivencia; los valores de la nación y el Estado se hacen biológicamente nefastos cuando conducen a la guerra y al aniquilamiento de innumerables seres humanos.

Una concepción de la historia basada en la teoría de los sistemas

En contraste con las especies biológicas que han evolucionado por transformación genética, el género humano es el único que exhibe el fenómeno de la historia, íntimamente vinculada a la cultura, el lenguaje y la tradición. El reino de la naturaleza está dominado por leyes que la ciencia revela progresivamente. ¿Hay leyes de la historia? En vista de que las leyes son relaciones en un modelo conceptual ó teoría, esta pregunta es idéntica a otra: aparte de la descripción de acontecimientos, ¿es posible una *historia teórica*? Si es posible en alguna forma, debe ser una investigación de *sistemas* como unidades adecuadas para la investigación —de grupos humanos, sociedades, culturas, civilizaciones o lo que se someta a la investigación.

Entre los historiadores está muy difundida la convicción de que no es así. La ciencia es más que nada una empresa *nomotética*, establece leyes basadas en el hecho de que los acontecimientos naturales son repetibles y recurrentes. En cambio, la historia no se repite. Sólo se ha dado una vez; de ahí que la historia sólo pueda ser *idiográfica*, descripción de sucesos que ocurrieron en el pasado cercano o distante.

Contrariamente a esta opinión, que es la ortodoxa entre los historiadores, han aparecido herejes que sostienen lo contrario y de uno u otro modo han tratado de construir una historia teórica con leyes aplicables al proceso histórico. Esta corriente arranca del filósofo italiano Vico a principios del siglo XVIII y continúa

en los sistemas filosóficos e investigaciones de Hegel, Marx, Spengler, Toynbee, Sorokin, Kroeber y otros. Hay diferencias considerables y manifiestas entre estos sistemas, pero todos concuerdan en que el proceso histórico no es completamente accidental sino que sigue regularidades o leyes que pueden ser determinadas.

Como ya se dijo, el enfoque científico es indiscutiblemente aplicable a algunos *aspectos* de la sociedad humana. Un campo de éstos es la estadística. Es posible formular muchas leyes estadísticas, o cuando menos regularidades, aplicables a las entidades sociales. Estadísticas de población, estadísticas de mortalidad —sin las cuales las compañías de seguros quebrarían—, encuestas Gallup, predicciones de votaciones o de la venta de un producto: todo ello muestra que los métodos estadísticos son aplicables a una amplia gama de fenómenos sociales.

Por lo demás, hay campos donde es generalmente aceptada la posibilidad de un sistema hipotético-deductivo. Un campo así es la economía matemática o econometría. Podrá disputarse en torno a cuál será el sistema correcto de la economía, pero el hecho es que tales sistemas existen y, como en cualquier ciencia, es de esperarse que sean perfeccionados. La economía matemática es también un caso oportuno de aplicación de teoría general de los sistemas sin que se trate de entidades físicas. Los problemas de múltiples variables, diferentes modelos y técnicas matemáticas de la economía ofrecen un buen ejemplo de construcción de modelos y de actitud de sistemas generales.

Incluso para esas misteriosas entidades que son los valores humanos están surgiendo teorías científicas. A decir verdad, la teoría de la información, la teoría de los juegos y la teoría de la decisión suministran modelos para enfrentarnos a aspectos del comportamiento humano y social a los cuales no son aplicables las matemáticas de la ciencia clásica. Obras como *Fights, Games, Debates* de Rapoport (1960) o *Conflict and Defence* de Boulding (1962) presentan análisis detallados de fenómenos tales como las carreras armamentistas, la guerra y los juegos de guerra, la competencia en el campo económico y otros, tratado todo por estos métodos comparativamente nuevos.

Tiene particular interés que estas aproximaciones se ocupen de aspectos del comportamiento humano que se creían externos a la ciencia: valores, decisiones racionales, información, etc. No son fisicalistas ni reduccionistas. No aplican leyes físicas ni usan

las matemáticas tradicionales de las ciencias naturales. Están apareciendo novedades matemáticas que aspiran a ocuparse de fenómenos que no se encuentran en el mundo de la física.

Hay así mismo leyes indiscutidas tocantes a algunos aspectos inmateriales de la cultura. Por ej., el lenguaje no es un objeto físico sino un producto —o, mejor, aspecto— de esa entidad intangible que llamamos cultura humana. No obstante, la lingüística habla de leyes que permiten la descripción, la explicación y la predicción de fenómenos observados. Las leyes de Grimm sobre las mutaciones de consonantes en la historia de las lenguas germánicas son uno de los ejemplos más sencillos.

En forma algo más vaga suele aceptarse cierta sumisión de los acontecimientos culturales a leyes. Parece ser un fenómeno bien general, p. ej., que el arte atraviese una serie de etapas de arcaísmo, madurez, barroco y disolución, tal como se aprecia en épocas y lugares muy alejados.

De esta manera se encuentran regularidades y leyes en los fenómenos sociales; hay aspectos específicos accesibles a procedimientos, modelos y técnicas recientes, exteriores a las ciencias naturales y distintos de ellas, y tenemos algunas ideas acerca de leyes intrínsecas, específicas y organizacionales de sistemas sociales. Esto no es cosa que se discuta.

La manzana de la discordia aparece con la «historia teórica», las grandes visiones o construcciones de la historia, como las de Vico, Hegel, Marx, Spengler, Toynbee, por mencionar sólo algunos ejemplos prominentes. Las regularidades en la «microhistoria», o sea los acontecimientos en limitados espacios, tiempos y actividades humanas, son sin duda vagas, necesitadas de exploración y andan lejos de representar enunciados exactos, pero su existencia es difícilmente discutible. Los intentos de hallar regularidades en la «macrohistoria» son rechazados casi unánimemente por la historia oficial.

Dejando aparte el romanticismo, la metafísica y la moralización, los «grandes sistemas» aparecen como modelos del proceso histórico, según Toynbee, algo atrasado, reconoció en el último volumen de su *Study*. Para cualquier intento de teoría resultan fundamentales modelos conceptuales que, en forma simplificada y por tanto comprensible, intenten representar algunos aspectos de la realidad —ya apliquemos el modelo newtoniano en mecánica, el modelo corpuscular u ondulatorio en física atómica, recurramos a modelos simplificados para describir el crecimiento de una población, o al modelo

de un juego para describir decisiones políticas. Son bien conocidas las ventajas y los peligros de los modelos. La ventaja está en que es el camino para crear una teoría, es decir, el modelo permite deducciones a partir de premisas, explicación y predicción, a menudo con resultados inesperados. El peligro es la excesiva simplificación: para hacerla conceptualmente controlable tenemos que reducir la realidad a un esqueleto conceptual, dejando en pie la pregunta de si al proceder así no habremos amputado partes vitales de la anatomía. El riesgo de supersimplificación es tanto mayor cuanto más múltiples y complejo es el fenómeno. Esto no sólo se aplica a las grandes teorías» de la cultura y la historia sino también a los modelos que encontramos en cualquier revista de psicología o sociología.

Es evidente que las grandes teorías son modelos muy imperfectos. Hay una enorme bibliografía crítica, que no tiene por qué entretenernos aquí, dedicada a exponer errores de hecho, interpretaciones erradas y falacias en las conclusiones. Pero aun dando por sabida toda esta crítica, queda una que otra observación.

Algo que los diversos sistemas de «historia teórica» parecen haber demostrado es la naturaleza del proceso histórico. La historia no es un proceso en una humanidad amorfa, o en *Homo sapiens* como especie zoológica. La sustentan entidades o grandes sistemas que se llaman altas culturas o civilizaciones. Su número es incierto, vagas sus lindes y complejas sus interacciones. Pero aunque Spengler contase ocho grandes civilizaciones, Toynbee una veintena, Sorokin aplique otras categorías o la indagación moderna haya sacado a la luz tantas culturas perdidas, parece un hecho que hubo un número limitado de entidades culturales portadoras del proceso histórico, cada una de las cuales mostró una especie de ciclo vital, como lo hacen sistemas socioculturales menores, p. ej. los negocios, las escuelas artísticas y hasta las teorías científicas. Este curso no es una duración vital predeterminada de mil años, según sostenía Spengler (ni los organismos tienen vidas fijas, sino que mueren antes o después), ni corre en espléndido aislamiento. El grado de difusión cultural resulta impresionante cuando los arqueólogos exploran la Ruta del Ámbar o el Camino de la Seda de principios de nuestra era o aun antes, o cuando descubren una estatuilla hindú de Lakshmi en Pompeya y establecimientos comerciales romanos en las costas de la India. En años relativamente recientes ha quedado de manifiesto una expansión que ni soñaron Spengler

o Toynbee y han surgido nuevos problemas. Es claro que la cultura de los khmer, los etruscos o los celtas prerromanos merecen un lugar en el esquema, y ¿cuál fue la cultura megalítica que se difundió por las orillas del Mediterráneo, el Atlántico y el Báltico, o la cultura ibérica que produjo, nada menos que 500 años antes de nuestra era, esa pasmosa obra que es la *Dama de Elche*, conservada en el Prado? Con todo, sí hay cosas como las culturas egipcia, grecorromana, fáustica, mágica, india (o como prefiramos llamarlas), cada una única en su «estilo» (o sea la unidad y totalidad de su sistema simbólico), por mucho que absorba y asimile rasgos culturales de otras e interactúe con sistemas culturales contemporáneos y pasados.

Además, los altibajos de la historia (no exactamente ciclos o recurrencias sino fluctuaciones) son cosa que consta públicamente. Tal como subrayaron Kroeber (1957) y Sorokin (1950), después de restar las equivocaciones e idiosincrasias de los filósofos de la historia queda una extensa área de acuerdo, consistente en hechos históricos bien conocidos. En otras palabras, las desavenencias entre los teóricos de la historia y con la historia oficial no son tanto cuestión de datos como de interpretación, como quien dice: de los modelos aplicados. Esto es, después de todo, lo que sería de esperarse según la historia de la ciencia, pues la «revolución» científica, la implantación de un nuevo «paradigma» de pensamiento científico (Kuhn, 1962), suele manifestarse en una gama de teorías o modelos en competencia.

En una disputa así, no hay que subestimar la influencia de la semántica pura y simple. Incluso el significado del concepto de cultura es motivo de controversia. Kroeber y Kluckhohn (1952) recopilaron y discutieron unas 160 definiciones sin sacar a relucir una definitiva. En particular, la noción del antropólogo y la del historiador son diferentes. Por ej., las *Patterns of Culture*, por Ruth Benedict, de habitantes de Nuevo México, Colombia Británica y Australia, son esencialmente intemporales; tales pautas existían desde tiempo atrás, y si sufrieron cambios leves en el pasado, caen fuera del alcance y de los métodos del antropólogo cultural. En contraste, la cultura —o civilización, diremos en mejor idioma— de que se ocupa el historiador es un proceso en el tiempo: la evolución de la cultura grecorromana a partir de las ciudades Estado jonias hasta el Imperio romano, de sus artes plásticas desde las estatuas arcaicas hasta el helenismo, de la música alemana de Bach a Richard

Strauss o de la ciencia de Copérnico a Einstein, etc., etc. Que sepamos, sólo un número reducido de «altas culturas» tuvieron e hicieron historia, es decir, exhibieron cambios importantes con el tiempo, en tanto que los centenares de culturas del antropólogo permanecían estancadas en sus niveles líticos y calcolíticos, según cada caso, antes del encuentro con Europa. Spengler está sin duda en lo cierto, con su concepto de la cultura como entidad dinámica y que se autodesenvuelve, contra los antropólogos para quienes una «cultura» —sea de aborígenes australianos, griega o la del mundo occidental— es tan buena como otra, por pertenecer todas a una corriente de humanidad amorfa, con resacas, rápidos y calmas, remolinos accidentales y provocados por el medio.

Dicho sea de paso, tales distinciones verbales son algo más que escolasticismo y tienen influencia política. En Canadá tenemos hoy por hoy la lucha en torno al biculturalismo (o las Dos Naciones, inglesa y francesa, en otra versión). ¿Qué significa? ¿Entendemos la cultura en el sentido antropológico y vamos a luchar a propósito de diferencias tribales como las que se dan entre pueblos salvajes de África o Borneo y provocan interminables guerras y derramamiento de sangre? ¿O entendemos por cultura lo que en inglés y francés es *culture* y en alemán *Kultur*, manifestaciones creadoras cuya existencia y diferencia entre los canadienses ingleses y franceses habría que probar? Es claro que las opiniones y decisiones políticas dependerán en gran medida de la definición. El concepto de nación en las Naciones Unidas se ha basado en la noción «antropológica» (si no en fronteras arbitrarias que vienen del período colonial); el resultado ha sido bastante menos que alentador.

Hay otro problema semántico implícito en las teorías «organísmicas» de la sociología y la historia. Spengler llamaba organismos a las grandes civilizaciones, con un ciclo vital que comprendía nacimiento, crecimiento, madurez, senectud y muerte; una hueste inmensa de críticos demostraron lo obvio: que las culturas no son organismos como los animales y las plantas, entidades individuales perfectamente deslindadas en el tiempo y el espacio. En cambio, la concepción organísmica sale bastante bien parada en sociología porque se entiende su carácter metafórico. Una empresa de negocios o una fábrica son «sistemas», y por eso muestran rasgos «organísmicos», pero la «planta» del botánico y la del industrial difieren con demasiada evidencia para ocasionar problema alguno. En español o francés habría sido difícil el conflicto, pues se acostumbra llamar or-

ganismo —*organisme*— a una institución (como el servicio postal), a una firma comercial o a una asociación profesional; se entiende la metáfora y no se torna tema de discusión.

En lugar de hacer hincapié en las limitaciones de los historiadores cíclicos, bien naturales en una etapa embrionaria de la ciencia, parece más provechoso subrayar su concordia en muchos aspectos. Hay un punto de acuerdo que traslada la cuestión más allá del ámbito académico. Se diría que aquí tocamos carne viva, lo cual ha merecido a Toynbee y a Spengler la aclamación popular y una reacción emocional harto desacostumbrada en el debate académico. Se trata de la tesis expresada en el título de Spengler, *La decadencia de Occidente* —la afirmación de que a pesar (o acaso en virtud) de nuestros espléndidos logros tecnológicos vivimos en una época de decadencia cultural y catástrofe inminente.

Aspecto del porvenir según la teoría de los sistemas

El dominio del hombre de masas y la supresión del individuo por una maquinaria social siempre creciente, el desplome del sistema tradicional de valores y su sustitución por seudorreligiones que van del nacionalismo al culto de los símbolos del status, la astrología, el psicoanálisis y el sectarismo californiano, la decadencia de la creatividad en plástica, música y poesía, la sumisión gustosa de la masa a la autoridad —de un dictador o de una *élite* impersonal—, las colosales luchas entre un número de super-Estados cada vez menor: he aquí algunos síntomas recurrentes en nuestros días. «Apreciamos el cambio psicológico en aquellas clases de la sociedad que fueron hasta entonces creadoras de cultura. Su poder creador, su energía creadora se agotaron, la gente se cansó y perdió interés en la creación, a la que dejó de apreciar; desencantados, su esfuerzo ya no persigue un ideal benéfico para la humanidad, entregan sus mentes a intereses materiales o a ideales que se realizarán en otra parte, dislocados de la vida en el mundo.» No se trata de un editorial del periódico de ayer, sino de una descripción de la decadencia del Imperio romano debida a Rostovtzeff, historiador bien conocido.

Con todo, contra estos síntomas y contra otros catalogados por los profetas de la condenación, hay dos factores que hacen a nuestra civilización indudablemente única en comparación con las que perecieron en el pasado. El uno es el *desarrollo tecnológico,*

que permite un control de la naturaleza nunca antes alcanzado y que abriría un camino para aliviar el hambre, la enfermedad, la sobrepoblación, etc., riesgos a los que la humanidad estaba antes expuesta. El otro factor es la *naturaleza global* de nuestra civilización. Las anteriores estaban limitadas por barreras geográficas y sólo comprendían grupos restringidos de seres humanos. Nuestra civilización comprende el planeta entero y hasta llega más allá conquistando el espacio. Nuestra civilización tecnológica no es privilegio de grupos comparativamente pequeños, tales como los ciudadanos de Atenas o del Imperio romano, los alemanes o los franceses, o incluso los europeos blancos. Está abierta a todos los seres humanos, de cualquier color, raza o credo.

Son éstas singularidades que hacen estallar el esquema cíclico de la historia y que parecen colocar nuestra civilización en un nivel diferente que el de las anteriores. Intentemos una síntesis, reconocidamente provisional.

Opino que la «decadencia de Occidente» no es una hipótesis ni una profecía sino un hecho consumado. Aquel espléndido desenvolvimiento cultural que se inició en las comarcas europeas alrededor del año 1000 y que produjo las catedrales góticas, el arte renacentista, a Shakespeare y a Goethe, la arquitectura precisa de la física newtoniana y toda la gloria de la cultura europea —todo ese enorme ciclo histórico ha pasado y es imposible volverlo a avivar por medios artificiales.

Hemos de tener en cuenta la ruda realidad de una civilización de masas, tecnológica, internacional, que abarca el mundo y a cada ser humano, en la cual los valores culturales y la creatividad de otros tiempos están sustituidos por cosas nuevas. Las presentes luchas por el poder quizá conduzcan, en esta crítica fase de hoy, a la devastación atómica universal. De no ser así, probablemente las diferencias entre Oriente y Occidente acaben por volverse insignificantes, en vista de la semejanza en la cultura material, que a la larga demostrará ser más fuerte que las diferencias ideológicas.

IX. Teoría general de los sistemas en psicología y psiquiatría

Las perplejidades de la psicología moderna

En años recientes, el concepto de «sistema» ha adquirido creciente importancia en psicología y psicopatología. Numerosas investigaciones se han referido a la teoría general de los sistemas o a alguna parte de ella (p. ej. F. Allport, 1955; G. W. Allport, 1960; Anderson, 1957; Arieti, 1962; Brunswik, 1956; Bühler, 1959; Krech, 1950; Lennard y Bernstein, 1960; Menninger, 1957; Menninger *et al.*, 1958; Miller, 1955; Pumpian-Mindlin, 1959, Syz, 1963). Gordon W. Allport concluyó la reedición de su libro clásico (1961) con «La personalidad como sistema»; Karl Menninger (1963) fundó su sistema de psiquiatría en la teoría general de los sistemas y la biología organísmica; Rapaport (1960) llegó a hablar de «la popularidad —que parece una epidemia— de los sistemas abiertos en psicología» (p. 144). Se pregunta uno a qué se deberá semejante tendencia.

La psicología estadounidense de la primera mitad de este siglo estuvo dominada por el concepto de organismo reactivo o, de modo más impresionante, por el modelo del hombre como robot. Esta concepción era compartida por todas las escuelas principales de la psicología estadounidense, la clásica y la neoconductista, las teorías del aprendizaje y la motivación, el psicoanálisis, la cibernética, el concepto del cerebro como computadora, y así sucesivamente.

De acuerdo con un destacado teórico de la personalidad:

El hombre es una computadora, un animal o un niño. Su destino está completamente determinado por genes, instintos,

accidentes, condicionamientos y reforzamientos tempranos, fuerzas culturales y sociales. El amor es una pulsión secundaria basada en el hambre y en sensaciones orales, o una formación reactiva a un odio subyacente innato. En la mayoría de nuestras formulaciones personológicas no se prevé nada para la creatividad, no se admiten márgenes de libertad para las decisiones voluntarias, ni hay ningún reconocimiento atinado del poder de los ideales, ninguna base para acciones desinteresadas, ningún fundamento en absoluto para la menor esperanza de que la raza humana pudiera salvarse de la fatalidad a la que hoy se enfrenta. Si nosotros los psicólogos nos hemos pasado todo el tiempo, conscientemente o no, procurando maliciosamente reducir el concepto de naturaleza humana a su mínimo común denominador, y disfrutando al lograrlo, tendríamos que admitir que en esa medida alentaba en nosotros un espíritu satánico. (Murray, 1962, pp. 36-54.)

Los postulados de la psicología del robot han sido muy criticados; el lector encontrará un resumen en las bien equilibradas evaluaciones de Allport (1955, 1957, 1961) y el reciente esbozo histórico de Matson (1964), tan brillantemente escrito como bien documentado. Sin embargo, la teoría siguió preponderando por razones evidentes. El concepto del hombre como robot era a la vez expresión y poderosa fuerza motriz de una sociedad de masas industrializada. Servía de base a la ingeniería del comportamiento en la publicidad y la propaganda comercial, económica, política, etc.; la economía en expansión de la «sociedad opulenta» no podía subsistir sin tales manejos. Sólo manipulando cada vez más a los humanos como a ratas skinnerianas, como a robot, autómatas compradores, conformistas y oportunistas homeostáticamente ajustados (hablando claro, idiotas y zombis), seguiría esta gran sociedad progresando hacia productos nacionales brutos cada vez mayores. De hecho (Henry, 1963), los principios de la psicología académica eran idénticos a los de la «concepción pecuniaria del hombre» (pp. 45*ss*).

La sociedad moderna ofreció un experimento de psicología manipuladora en gran escala. Si sus principios fueran correctos, las condiciones de tensión y *stress* debieran tender a incrementar los trastornos mentales. Por otra parte, la salud mental mejoraría al estar satisfechas las necesidades básicas de alimento, abrigo, seguridad personal, etc., al ser evitada la represión de los instintos infantiles

mediante adiestramiento tolerante de las funciones corporales, al reducir las exigencias escolares de modo que no sobrecarguen la mente tierna, al suministrar satisfacción sexual a edad temprana, etcétera.

El experimento conductista tuvo resultados contrarios a lo que se esperaba. La Segunda Guerra Mundial —período de intenso *stress* fisiológico y psicológico— no provocó multiplicación de los trastornos neuróticos (Opler, 1956) ni de los psicóticos (Llavero, 1957), aparte de efectos de choque directo, como las neurosis de combate. En contraste, la sociedad próspera produjo un número sin precedentes de enfermos mentales. Precisamente en condiciones de reducción de tensiones y satisfacción de necesidades biológicas aparecieron nuevas formas de trastorno mental: neurosis existencial, tedio maligno y neurosis de retiro (Alexander, 1960), o sea formas de disfunción mental originadas no en pulsiones reprimidas, necesidades insatisfechas o *stress*, sino en la falta de significado de la vida. Se sospecha (Arieti, 1959, p. 474; von Bertalanffy, 1960a), aunque falta apoyo estadístico, que el reciente incremento en la esquizofrenia puede deberse al nuevo camino del hombre en la sociedad moderna. Y no cabe duda de que en el campo de los trastornos del carácter ha aparecido un nuevo tipo de delincuencia juvenil: el crimen no por carencia o por pasión, sino por puro gusto, para «animarse», nacido de la vacuidad de la vida (Anónimo, *Crime and Criminologists*, 1963; Hacker, 1955).

Así a la psicología tanto teórica como aplicada la invadió el malestar con respecto a sus principios básicos. Esta incomodidad, así como la inclinación a una nueva orientación, se expresó de muchas maneras, tales como las varias escuelas neofreudianas, la psicología del yo, las teorías de la personalidad (Murray, Allport), la aceptación retrasada de la psicología europea del desarrollo y del niño (Piaget, Werner, Charlotte Bühler), el *new look* en percepción, autorrealización (Goldstein, Maslow), la terapia centrada en el cliente (Rogers), las actitudes fenomenológicas y existenciales, los conceptos sociológicos del hombre (Sorokin, 1963), y otros. Entre la variedad de las corrientes modernas hay un principio común: no considerar al hombre como autómata reactivo o robot sino como *un sistema activo de personalidad.*

La razón del actual interés en la teoría general de los sistemas parece residir, pues, en la esperanza de que contribuye a elaborar

un armazón conceptual más adecuado para la psicología normal y patológica.

Conceptos de sistemas en psicopatología

La teoría general de los sistemas se arraiga en la concepción organísmica en biología. Esto lo desarrolló en el continente europeo el presente autor (1928a) en la tercera década del siglo, paralelamente a trabajos en los países anglosajones (Whitehead, Woodger, Coghill y otros) y sobre la teoría de la *Gestalt* (W. Köhler). Es interesante notar que Eugen Bleuler (1931) siguió con simpatía los primeros pasos de esta evolución. Goldstein (1939) representa una tendencia afín en psicología.

ORGANISMO Y PERSONALIDAD. En contraste con las fuerzas físicas como la gravedad o la electricidad, los fenómenos de la vida sólo residen en entidades llamadas organismos. Todo organismo es un sistema, esto es, un orden dinámico de partes y procesos en interacción mutua (von Bertalanffy, 1949a, p. 11). Similarmente, los fenómenos psicológicos sólo se hallan en entidades individualizadas que en el hombre se denominan personalidades. «Sea lo que fuere la personalidad, tiene las propiedades de un sistema» (G. Allport, 1961, p. 109).

El concepto «molar» del organismo psicofísico como sistema contrasta con su concepción como mero agregado de unidades «moleculares» tales como reflejos, sensaciones, centros cerebrales, pulsiones, respuestas reforzadas, rasgos, factores. La psicopatología muestra la disfunción mental como perturbación de un sistema antes que como pérdida de funciones sueltas. Incluso en traumas localizados (p. ej. lesiones corticales), el efecto es en perjuicio del sistema total de acción, en particular con respecto a las funciones superiores y así más exigentes. A la inversa, el sistema tiene considerables capacidades de regulación (Bethe, 1931; Goldstein, 1959; Lashley, 1929).

EL ORGANISMO ACTIVO. «Aun sin estímulos externos, el organismo no es un sistema pasivo sino intrínsecamente activo. La teoría de los reflejos ha presupuesto que el elemento primario de la conducta es la respuesta a estímulos externos. En contraste, la investigación reciente muestra con claridad cada vez mayor que la actividad

autónoma del sistema nervioso, residente en el sistema mismo, debe ser considerada primaria. En la evolución y en el desarrollo aparecen mecanismos reactivos superpuestos a actividades primitivas, rítmico-locomotoras. El estímulo (o sea un cambio en las condiciones externas) no *causa* un proceso en un sistema inerte por lo demás; sólo *modifica* procesos en un sistema autónomamente activo» (von Bertalanffy, 1937, pp. 133*ss;* también 1960).

El organismo viviente mantiene un desequilibrio que se llama estado uniforme de un sistema abierto y está así en situación de dedicar potenciales o «tensiones» existentes a la actividad espontánea o en respuesta a estímulos desencadenantes; incluso propresa hacia orden y organización mayores. El modelo de robot considera la respuesta a estímulos, la reducción de tensiones, el restablecimiento de un equilibrio perturbado por factores de fuera, el ajuste al medio, y demás, como esquema básico y universal del comportamiento. Sin embargo, el modelo de robot sólo abarca en parte el comportamiento animal y no cubre en absoluto ninguna porción esencial de la conducta humana. Para ahondar en la actividad inmanente primaria del organismo psicofísico es precisa una reorientación a fondo sustentada por abundantes testimonios biológicos, neurofisiológicos, conductistas, psicológicos y psiquiátricos.

La actividad autónoma es la forma más primitiva del comportamiento (Von Bertalanffy, 1949a; Carmichael, 1954; Herrick, 1956; von Holst, 1937; Schiller, 1957; H. Werner, 1957a); aparece en la función cerebral (Hebb, 1949) y en procesos psicológicos. El descubrimiento de sistemas activadores en el tronco cerebral (Berlyne, 1960; Hebb, 1955; Magoun, 1958) ha recalcado este hecho en años recientes. El comportamiento natural comprende innumerables actividades más allá del esquema de E-R, desde la exploración, el juego y los rituales en los animales (Schiller, 1957) hasta las vias económicas, intelectuales, estéticas, religiosas, etc., hacia la autorrealización en el hombre. Incluso las ratas parecen «buscar» problemas (Hebb, 1955), y el niño o el adulto sanos van mucho más allá de la reducción de tensiones o la satisfacción de necesidades en incontables actividades que no pueden ser reducidas a pulsiones primarias o secundarias (G. Allport, 1961, p. 90). Toda esta conducta es llevada adelante por amor de sí misma, y derivándose gusto («placer de función», según K. Bühler) de la realización como tal,

Por razones similares, el total relajamiento de tensiones, como en las experiencias de privación sensoria, no es un estado ideal sino que propende a producir insufrible angustia, alucinaciones y otros síntomas de tipo psicótico. La psicosis del *prisionero*, o la exacerbación de los síntomas de los enfermos mentales incomunicados, así como las neurosis de retiro y de fin de semana son estados clínicos *afines* que atestiguan que el organismo psicofísico necesita cierto grado de tensión y de actividad para la existencia saludable.

Es síntoma de enfermedad mental la perturbación de la espontaneidad. El paciente *se hace* cada vez más un autómata, una máquina de E-R, es empujado por pulsiones biológicas, lo obsesiona la necesidad de comida, excreción, satisfacción sexual, etc. El modelo del organismo pasivo es una descripción harto adecuada del comportamiento estereotipado de los compulsivos, de los pacientes con lesiones cerebrales, y de la pérdida de actividad autónoma en la catatonia y estados psicopatológicos relacionados. Lo cual, de paso, subraya el hecho de que el comportamiento normal *es* diferente.

HOMEOSTASIA. Muchas regulaciones psicofisiológicas siguen los principios de la homeostasia. Sin embargo, hay limitaciones evidentes (cf. pp. 170 *ss*). En general, el esquema homeostático no es aplicable (1) a regulaciones dinámicas, o sea a regulaciones no basadas en mecanismos fijos sino que se dan dentro de un sistema que funciona como un todo (p. ej. los procesos de regulación después de lesiones cerebrales); (2) a actividades espontáneas; (3) a procesos cuya meta no es la reducción *sino el* establecimiento de tensiones, y (4) a procesos de crecimiento, desarrollo, creación y similares. Podemos también decir que la homeostasia es inapropiada como principio explicativo para las actividades humanas no utilitarias, que no sirven a las necesidades primarias de conservación propia y supervivencia ni a sus derivaciones secundarias, como ocurre con tantas manifestaciones culturales. La evolución de la escultura griega, la pintura del Renacimiento o la música alemana no tiene nada que ver con el ajuste o la supervivencia, pues son de valor simbólico y no biológico (von Bertalanffy, 1959; también 1964c; compárese abajo). Pero ni siquiera la naturaleza viviente es en modo alguno meramente utilitaria (von Bertalanffy, 1949a, pp. 106*ss*).

El principio de la homeostasia a veces ha sido hinchado hasta

el punto de hacerlo ridículo. La muerte del mártir en la pira es explicada (Freeman, 1948) por «desplazamiento anormal» de sus procesos internos, de manera que la muerte es más «homeostatizadora» que el seguir con vida (pp. 142*ss*); se supone que el alpinista arriesga la vida porque «el perder un status social apreciado puede ser más perturbador» (Stagner, 1951). Tales ejemplos muestran hasta qué extremos están dispuestos a llegar ciertos autores con tal de salvar un esquema arraigado en una filosofía económico-comercial y que ensalza el conformismo y el oportunismo como valores últimos. No debe olvidarse que Cannon (1932), como eminente fisiólogo y pensador que era, está libre de semejantes deformaciones: subrayó explícitamente lo «no esencial inapreciable», más allá de la homeostasia (p. 323; cf. también Frankl, 1959b; Toch y Hastorf, 1955).

El modelo homeostático es aplicable en psicopatología porque en general las funciones no homeostáticas decaen en los pacientes mentales. Así Karl Menninger (1963) logró describir el progreso de la enfermedad mental como una serie de mecanismos de defensa, que hacían descender a niveles homeostáticos cada vez más bajos, hasta no dejar sino la preservación de la vida fisiológica. El concepto de Arieti (1959) de la regresión teleológica progresiva en la esquizofrenia es algo parecido.

DIFERENCIACIÓN. «La diferenciación es la transformación a partir de una condición más general y homogénea hasta otra más especial y heterogénea» (Conklin, según Cowdry, 1955, p. 12). «Dondequiera que se da desarrollo, procede de un estado de relativa globalidad y carencia de diferenciación hasta un estado de mayor diferenciación, articulación y orden jerárquico» (H. Werner, 1957b).

El principio de diferenciación es ubicuo en biología, evolución y desenvolvimiento del sistema nervioso, comportamiento, psicología y cultura. Fue Werner (1957a) quien se percató de que las funciones mentales suelen progresar desde un estado sincrético, en el cual percepciones, motivación, sensación, imaginación, símbolos, conceptos, etc. constituyen una unidad amorfa, hacia una distinción cada vez más clara de estas funciones. En la percepción el estado primitivo parece ser de sinestesia (de la cual quedan rastros en el adulto humano y que reaparece en la esquizofrenia o bajo la influencia de la mezcalina o la LSD), del cual se van deslindando experiencias

visuales, auditivas, táctiles, químicas y otras* En el comportamiento animal y buena parte del humano hay una unidad perceptivo-emotivo-motivacional; los objetos percibidos sin armónicos emotivo-motivacionales son un logro tardío del hombre maduro civilizado. Los orígenes del lenguaje son oscuros, pero en lo que es posible hacerse idea, se diría que el lenguaje y el pensamiento «holofrásticos» (W. von Humboldt, cf. Werner, 1957a), o sea enunciados y pensamientos con una amplia aura de asociaciones, precedieron a la separación de los significados y el lenguaje articulado. Similarmente, las categorías de la vida mental desarrollada, como la distinción entre el «yo» y los objetos, el espacio, el tiempo, el número, la causalidad y demás, evolucionaron a partir de un continuo perceptivo-conceptual-motivacional representado por la percepción «paleológica» de niños, primitivos y esquizofrénicos (Arieti, 1959; Piaget, 1959; Werner, 1957a). El mito fue el caos prolífico a partir del cual se diferenciaron lenguaje, magia, arte, ciencia, medicina, mores, moral y religión (Cassirer, 1953-1957).

Así, «yo» y «el mundo», «mente» y «materia», o la *res cogitans* y la *res extensa* de Descartes, no constituyen dato puro y antítesis primordial. Son fruto final de un largo proceso de evolución biológica, desarrollo mental del niño e historia cultural y lingüística, donde quien percibe no es un simple receptor de estímulos sino que en un sentido muy real *crea* su mundo (p. ej. Bruner, 1958; Cantril, 1962; Geertz, 1962; Matson, 1964, pp. 181*ss*). Puede contarse esto de diferentes modos (p. ej. G. Allport, 1961, pp. 110-138; von Bertalanffy, 1964a y 1965; Cassirer, 1953-1957; Freud, 1920; Merloo, 1956, pp. 196-199; Piaget, 1959; Werner, 1957a), pero hay acuerdo general en que la diferenciación surgió de un «absoluto indiferenciado de sí mismo y del medio» (Berlyne, 1957), y en que la experiencia animista del niño y el primitivo (que persiste en la filosofía aristotélica), la visión «fisiognómica» (Werner, 1957a), la experiencia de «nosotros» y «tú» (mucho más intensa en el pensamiento oriental que en el occidental, Koestler, 1960), la empatía, etc. fueron etapas del camino hasta que la física del Renacimiento acabó por «descubrir la naturaleza inanimada». Las «cosas» y el «sí mismo» emergen gracias a un lento acopio de innumerables

* Cf. J. J. Gibson, *The Senses Considered as Perceptual Systems* (Houghton Mifflin, Boston, 1966), el modelo del holograma neural en fisiología cerebral (K. H. Pribram, «Four R's of Remembering», en *The Neurophysiological and Biochemical Bases of Learning*, Harvard University Press, Cambridge), y así sucesivamente.

factores de dinámica gestaltista, de procesos de aprendizaje y de determinantes sociales, culturales y lingüísticos; la distinción cabal entre «objetos públicos» y «sí mismo privado» no se alcanza sin nombrar y sin lenguaje, procesos a nivel simbólico; y a lo mejor esta distinción presupone un lenguaje de tipo indoeuropeo (Whorf, 1956).

En la psicopatología y la esquizofrenia todos estos estados primitivos resurgen por regresión y en manifestaciones extrañas —extrañas por combinar arbitrariamente elementos arcaicos entre ellos y con procesos de pensamiento más rebuscados. Por otra parte, la experiencia del niño, el salvaje y el no occidental, aunque primitiva, constituye no obstante un universo organizado. Esto lleva al siguiente grupo de conceptos que vamos a considerar.

CENTRALIZACIÓN Y CONCEPTOS RELACIONADOS. «Los organismos no *son* máquinas, pero en cierto grado pueden *volverse* máquinas, congelarse en máquinas. Nunca por completo, sin embargo, pues un organismo totalmente mecanizado sería incapaz de reaccionar a las condiciones en cambio incesante del mundo exterior» (von Bertalanffy, 1949a, pp. 17*ss*). El *principio de mecanización progresiva* expresa la transición de una totalidad indiferenciada a una función superior, posible merced a especialización y «división del trabajo»; este principio implica también pérdida de potencialidades de los componentes y de regulabilidad del conjunto.

La mecanización conduce a menudo al establecimiento de *partes conductoras*, esto es, de componentes que dominan la conducta del sistema. Tales centros pueden ejercer «causalidad de disparador», o sea que, al contrario del principio *causa aequat effectum*, un cambio pequeño en una parte conductora por medio de *mecanismos amplificadores*, provoca grandes cambios en el sistema total. De esta manera llega a establecerse un *orden jerárquico* de partes o procesos (cf. capítulo III). Estos conceptos no necesitan comentario, salvo por lo que toca a un punto controvertido.

En el cerebro, así como en la función mental, se alcanzan la centralización y el orden jerárquico por estratificación (A. Gilbert, 1957; Lersch, 1960; Luthe, 1957; Rothacker, 1947), es decir, por superposición de «capas» más altas que adoptan el papel de partes conductoras. Los detalles y los puntos disputados van más allá de esta exposición. Sin embargo, se convendrá en que —simplificando mucho— es posible distinguir tres capas principales o etapas

evolutivas. En el cerebro son (1) el paleencéfalo, en los vertebrados inferiores, (2) el neencéfalo (corteza), que evoluciona de los reptiles a los mamíferos, y (3) ciertos centros «supremos», en especial la región motora del habla (de Broca) y las grandes áreas asociativas que sólo se encuentran en el hombre. A la vez hay un movimiento de los centros de control hacia adelante, p. ej. en el aparato visual desde los *colliculi optici* del mesencéfalo (vertebrados inferiores) hasta los *corpora geniculata lateralia* del diencéfalo (mamíferos) y la *regio calcarina* del teleencéfalo (hombre)*.

Paralela en cierto modo es la estratificación en el sistema mental, que puede ser circunscrita a grandes rasgos mencionando los dominios de los instintos, las pulsiones, las emociones, la «personalidad profunda» primigenia; la percepción y la acción voluntaria; y las actividades simbólicas características del hombre. Ninguna de las formulaciones disponibles (el ego, el superego y el *ello* de Freud, las de los teóricos alemanes de la estratificación) está libre de objeciones. El significado neurofisiológico de que una porción reducida de los procesos cerebrales sea «consciente» se desconoce por completo. El inconsciente freudiano, o *ello*, comprende sólo aspectos limitados, y ya autores prefreudianos repasaron con mucho mayor amplitud las funciones inconscientes (Whyte, 1960). Si bien estos problemas necesitan mayor aclaración, yerran los autores anglosajones que rechazan la estratificación por ser «filosófica» (Eysenck, 1957) o insisten en que no hay diferencia fundamental entre el comportamiento de la rata y el del hombre (Skinner, 1963). Semejante actitud sencillamente prescinde de hechos zoológicos elementales. Por lo demás, la estratificación es indispensable para comprender las perturbaciones psiquiátricas.

Regresión. El estado psicótico es descrito a veces como una «regresión a formas antiguas e infantiles de comportamiento». Esto es incorrecto; ya E. Bleuler señaló que el niño no es un pequeño esquizofrénico sino un ser que funciona normalmente, aunque primitivo. «El esquizofrénico regresa a un nivel inferior mas no se integra a él; sigue desorganizado» (Arieti, 1959, p. 475). La regresión es esencialmente desintegración de la personalidad, esto es, *desdiferenciación* y *descentralización*. Desdiferenciación quie-

---

* Cf. recientemente A. Koestler, *The Ghost in the Machine* (Hutchinson, Londres, 1967).

re decir que no hay pérdida de funciones meristas sino reaparición de estados primitivos (sincretismo, sinestesia, pensar paleológico, y cuestiones parecidas). La descentralización es, en el extremo, desencefalización funcional en el esquizofrénico (Arieti, 1955). La escisión de la personalidad, de acuerdo con E. Bleuler, en complejos neuróticos (entidades psicológicas que asumen la dominancia) menos graves, el funcionamiento perturbado del yo, su debilitamiento, etc., apuntan similarmente al relajamiento de la organización mental jerárquica.

LÍMITES. Todo sistema como entidad investigable por derecho propio debe tener límites, espaciales o dinámicos. Estrictamente hablando, los límites espaciales sólo se dan a la observación ingenua, y todos los límites son en última instancia dinámicos. Es imposible señalar con exactitud los límites de un átomo (con valencias saliéndole, diríamos, para atraer otros átomos), de una piedra (agregado de moléculas y átomos consistente más que nada en espacio vacío, con partículas separadas por distancias planetarias), o de un organismo (que continuamente intercambia materia con el medio que lo circunda).

En psicología, los límites del yo son tan fundamentales como precarios. Según se indicó ya, se establecen lentamente en la evolución y el desarrollo y nunca quedan fijos por completo. Se originan en la experiencia propioceptiva y en la imagen corporal, pero la autoidentidad no se establece del todo hasta que se nombran el «yo», el «tú» y el «eso». La psicopatología exhibe la paradoja de que las lindes del yo sean a la vez demasiado fluidas y demasiado rígidas. La percepción sincrética, el sentimiento animista, las ilusiones y alucinaciones, etc., provocan la inseguridad de los límites del yo, pero dentro de su universo autocreado el esquizofrénico vive «en una concha», parecido a los animales que viven en las «burbujas» de sus mundos limitados por la organización (Schiller, 1957). En contraste con el limitado «ambiente» del animal, el hombre está «abierto al mundo» o dispone de un «universo»; esto es, su mundo trasciende ampliamente las ligas biológicas y aun las limitaciones de sus sentidos. Para él, el «encapsulamiento» (Royce, 1964) —del especialista al neurótico y, en el extremo, el esquizofrénico— es a veces una limitación patógena de potencialidades. Éstas se basan en las funciones simbólicas del hombre.

ACTIVIDADES SIMBÓLICAS. «Salvo por la satisfacción inmediata de necesidades biológicas, el hombre vive en un mundo no de cosas sino de símbolos» (von Bertalanffy, 1956a). También podemos decir que los varios universos simbólicos, materiales y no materiales, que distinguen las culturas humanas de las sociedades animales, son parte —y fácilmente la más importante— del sistema de conducta del hombre. Podrá dudarse con razón de que el hombre sea un animal racional, pero de fijo es, de pies a cabeza, un ser creador de símbolos y dominado por los símbolos.

El simbolismo es reconocido como criterio único del hombre por los biólogos (von Bertalanffy, 1956a; Herrick, 1956), los fisiólogos de la escuela pavloviana («sistema secundario de señales»; Luria, 1961), los psiquiatras (Appleby, Scher y Cummings, 1960; Arieti, 1959; Goldstein, 1959) y los filósofos (Cassirer, 1953-1957; Langer, 1942). Esto no figura ni siquiera en textos importantes de psicología, a consecuencia de la filosofía de robot que impera, pero es precisamente por las funciones simbólicas por lo que «los motivos en los animales no serán modelo adecuado para los motivos en el hombre» (G. Allport, 1961, p. 221), y por lo que la personalidad humana no queda acabada hacia los tres años, como suponía la teoría de los instintos de Freud.

No discutiremos aquí la definición de las actividades simbólicas; el autor ha procurado hacerlo en otra parte (von Bertalanffy, 1956a y 1965). Baste con decir que probablemente todas las nociones empleadas para caracterizar la conducta humana son consecuencias o diferentes aspectos de la actividad simbólica. Cultura o civilización; procepción creadora en contraste con la percepción pasiva (Murray, G. W. Allport), objetivación tanto de cosas externas como del sí mismo (Thumb, 1943), unidad yo-mundo (Nuttin, 1957), estrato abstracto contra concreto (Goldstein, 1959); el tener pasado y porvenir, «nexo temporal», visión de lo futuro, auténtica intencionalidad (aristotélica; cf. capítulo III), intención como planeamiento consciente (G. Allport, 1961, p. 224); temor a la muerte, suicidio; voluntad de significado (Frankl, 1959b), interés como cebo en la actividad cultural que autogratifica (G. Allport, 1961, p. 225), devoción idealista a una causa (quizá sin esperanza), martirio; «empuje hacia adelante de la motivación madura» (G. Allport, 1961, p. 90); autotrascendencia; autonomía del yo, funciones del yo sin conflictos; agresión esencial (von Bertalanffy, 1958); consciencia, super yo, ideal del yo, valores, moral, disimulo, verdad y mentira

—todo ello surge de la raíz de universos simbólicos creadores y no puede, pues, ser reducido a pulsiones biológicas, instintos psicoanalíticos, reforzamiento de gratificaciones u otros factores biológicos. La distinción entre *valores biológicos* y *específicamente humanos* está en que los primeros atañen a la conservación del individuo y la supervivencia de la especie, y los últimos siempre aluden a un universo simbólico (von Bertalanffy, 1959 y 1964c).

En consecuencia, los trastornos mentales en el hombre comprenden por regla general perturbaciones de las funciones simbólicas. Kubie (1953) tiene seguramente razón cuando, como «nueva hipótesis» sobre las neurosis, distingue «procesos psicopatológicos que se dan a causa de la repercusión deformadora de experiencias muy cargadas, a edad temprana» y los que «consisten en deformación de las funciones simbólicas». Los trastornos en la esquizofrenia residen asimismo a nivel simbólico y adoptan muchas formas diferentes: aflojamiento de la estructura asociativa, desplome del límite del yo, perturbaciones del habla y el pensar, concretización de ideas, desimbolización, pensamiento paleológico, etc. Remitimos a las discusiones debidas a Arieti (1959) y Goldstein (1959).

La conclusión (que no es en modo alguno generalmente aceptada) es que la enfermedad mental es un *fenómeno específicamente humano*. Los animales pueden exhibir en la conducta (según se nos alcanza por experiencia empática) todos los trastornos perceptivos, motores y del talante, todas las alucinaciones, sueños, reacciones fallidas que se quiera. Pero carecen de las perturbaciones de las funciones simbólicas que son ingredientes esenciales de la enfermedad mental. En los animales no puede haber perturbación de ideas, delirios de grandeza o de persecución, etc., por la sencilla razón de que no hay ideas de que partir. De esta manera, la «neurosis animal» es apenas un modelo parcial de la entidad clínica (von Bertalanffy, 1957a).

He aquí la razón última de que el comportamiento humano y la psicología humana no sean reducibles a nociones biologistas como la restauración de la homeostasia, el conflicto entre pulsiones biológicas, relaciones madre-hijo insatisfactorias y demás. Otra consecuencia es la dependencia de la enfermedad con respecto a la cultura, tanto en sintomatología como en epidemiología. Decir que la psiquiatría tiene un marco fisio-psico-sociológico no es sino otra manera de expresar el mismo hecho.

Por igual razón, el afán humano es más que autorrealización; se dirige a metas objetivas y realización de valores (Frankl, 1959a, 1959b, 1960), lo cual no significa nada *más* que entidades simbólicas que, en cierto sentido, quedan desprendidas de sus creadores (von Bertalanffy, 1956a, también 1965). Quizás arriesguemos una definición. Puede haber conflicto entre pulsiones biológicas y un sistema simbólico de valores; tal es la situación de la psiconeurosis. O haber conflicto entre universos simbólicos, o pérdida de orientación de valor, y experiencia de la falta de significado del individuo; es la situación en que surge la neurosis existencial o «noógena». Análogas consideraciones son aplicables a los «trastornos del carácter» como la delincuencia juvenil que, muy aparte de su psicodinámica, se originan en el desplome o erosión del sistema de valores. Entre otras cosas, la cultura es un importante factor psicohigiénico (von Bertalanffy, 1959, 1964c).

El sistema: un nuevo marco conceptual. Luego de repasar las nociones principales de la teoría de los sistemas, puede decirse, en resumen, que parecen proporcionar un armazón consistente para la psicopatología.

La enfermedad mental es a fin de cuentas una perturbación de las funciones de sistema del organismo psicofísico. Por esta razón, síntomas o síndromes aislados no definen la entidad patológica (von Bertalanffy, 1960a). Véanse algunos síntomas clásicos de la esquizofrenia. «Relajamiento de la estructura asociativa» (E. Bleuler) y cadenas de asociaciones sin freno; ejemplos parecidísimos se encuentran en cierta poesía y retórica. Alucinaciones auditivas; a Juana de Arco unas «voces» le encomendaron liberar a Francia. Sensaciones perforantes; tan gran mística como Santa Teresa tuvo idéntica experiencia. Construcciones fantásticas del mundo; las de la ciencia dejan pequeñas las de cualquier esquizofrénico. No es que juguemos en torno al tema de «el genio y la locura»; se trata de mostrar que la diferencia no reside en criterios separados sino en la integración.

Es posible definir limpiamente perturbaciones psiquiátricas en términos de funciones de sistema. Por lo que respecta a la *cognición*, los mundos de los psicóticos, tan impresionantemente descritos por autores de las escuelas fenomenológica y existencialista (p. ej. May *et al.*, 1958), son «producto de sus cerebros». Pero también nuestro mundo normal está conformado por factores emocionales,

motivacionales, sociales, culturales, lingüísticos, etc., amalgamados con la percepción propiamente dicha. Ilusiones y confusiones, alucinaciones, cuando menos en sueños, se dan en el individuo sano; inclusive los mecanismos de la ilusión tienen su papel en los fenómenos de persistencia, sin los cuales sería imposible una imagen coherente del mundo. El contraste entre la normalidad y la esquizofrenia no está en que la percepción normal refleje en un espejo plano la realidad «tal como es», sino en que la esquizofrenia tiene elementos subjetivos que se desbocan y están desintegrados.

Lo mismo es aplicable en el nivel simbólico. Nociones científicas como las de que la Tierra vuela a velocidad inimaginable por el universo, o la de que un cuerpo sólido consiste en su mayor parte en espacio vacío con diminutas motas de energía separadas por distancias astronómicas, contradicen la experiencia cotidiana y el «sentido común» y son más fantásticas que los «planos del mundo» de los esquizofrénicos. Con todo, da la casualidad de que las nociones científicas son «ciertas», o sea que encajan en un esquema integrado.

Consideraciones similares se aplican a la *motivación*. El concepto de espontaneidad traza las lindes. La motivación normal implica actividad autónoma, integración de la conducta, plasticidad y adaptabilidad en condiciones cambiantes, libre uso de anticipación simbólica, decisión, etc. Esto subraya la jerarquía de funciones, en especial el nivel simbólico superpuesto al organísmico. Así, junto al principio organísmico de «actividad espontánea», el principio «humanístico» de «funciones simbólicas» debe ser piedra angular de la consideración a la luz de la teoría de los sistemas.

De modo que la respuesta a la falta o no de salud mental de un individuo, depende en última instancia de que disfrute de *un universo integrado congruente con el marco cultural que le toque* (von Bertalanffy, 1960a). Por lo que se nos alcanza, este criterio comprende todos los fenómenos de la psicopatología en comparación con la normalidad, y deja lugar a la dependencia de las normas mentales con respecto a la cultura. Lo que puede cuadrar a una cultura quizá sea patológico en otra, según han mostrado los antropólogos culturales (Benedict, 1934).

Este concepto tiene implicaciones definidas en *psicoterapia*. Si el organismo psicofísico es un sistema activo, las terapias ocupacionales y adyuntivas tienen evidente consecuencia; el despertar posibilidades creadoras tendrá mayor importancia que el ajuste pasivo.

Si estos conceptos son correctos, más importante que «escarbar en el pasado» será ahondar en los conflictos presentes, procurar la reintegración y la orientación hacia metas y el porvenir, esto es, la anticipación simbólica. Ni que decir tiene, esto es una paráfrasis de recientes tendencias en psicoterapia, que así bien puede fundarse en la «personalidad como sistema». En fin, si gran parte de la neurosis actual es «existencial», resultante de la falta de sentido de la vida, será oportuna la «logoterapia» (Frankl, 1959b), la terapia a *nivel* simbólico.

Parece, pues que, sin caer en la trampa de la filosofía del «nada sino», en detrimento de otras concepciones, una teoría de sistemas de la personalidad proporciona un buen fundamento a la psicología y la psicopatología.

Conclusión

La teoría de los sistemas en psicología y psiquiatría no representa un desenlace emocionante de descubrimientos nuevos, y si el lector tiene cierto sentimiento de *déjà vu*, no podemos contradecirlo. Nos propusimos mostrar que los conceptos de sistema en este campo no son especulación, no son empeño de meter los hechos en la camisa de fuerza de una teoría que da la coincidencia que está de moda, y no tienen que ver con el «antropomorfismo mentalista» tan temido por los conductistas. Con todo, el concepto de sistema representa un viraje en redondo con respecto a las teorías del robot, que conduce a una imagen del hombre más realista (y, de paso, más digna). Además acarrea consecuencias de gran alcance para la visión científica del mundo, a las cuales en este bosquejo apenas podemos aludir:

(1) El concepto de sistema ofrece un armazón teórico que es *psicofísicamente neutral*. Términos físicos y fisiológicos tales como potenciales de acción, trasmisión química en las sinapsis, redes neurales, etc., *no* son aplicables a fenómenos mentales, ni menos aún pueden aplicarse nociones psicológicas a fenómenos físicos. Los términos y principios de sistemas, tales como los que discutimos, pueden aplicarse a hechos de uno y otro campo.

(2) El problema de la mente y el cuerpo no puede ser discutido aquí, y el autor tiene que remitir a otra investigación (von Bertalanffy, 1964a). Resumamos: el *dualismo cartesiano* entre materia y mente, objetos exteriores y yo interior, cerebro y consciencia,

y así por el estilo, es incorrecto, tanto a la luz de la experiencia fenomenológica directa como a la de estudios modernos en varios campos; es una conceptualización procedente de la física del siglo XVII que, aunque siga imperando en debates modernos (Hook, 1961; Scher, 1962), está anticuada. Desde el punto de vista moderno, la ciencia no hace afirmaciones metafísicas, ya sean de la variedad materialista, de la idealista o de la positivista de datos sensorios. Es una construcción conceptual que reproduce aspectos limitados de la experiencia en su estructura formal. Las teorías del comportamiento y la psicología tienen que ser análogas en estructura formal, o sea isomorfas. Posiblemente los conceptos de sistemas sean el primer comienzo de este «lenguaje común» (cf. Piaget y Bertalanffy, en Tanner y Inhelder, 1960). En el futuro lejano esto tal vez lleve a una «teoría unificada» (Whyte, 1960) de la cual pudieran derivarse algún día aspectos materiales y mentales, conscientes e inconscientes.

(3) Dentro del marco expuesto, el problema del *libre albedrío* o el *determinismo* recibe también un significado nuevo y definido. Es un seudoproblema resultante de confundir distintos niveles de experiencia, y epistemología y metafísica. Nos *experimentamos* como libres, por la sencilla razón de que la categoría de causalidad no es aplicada a la experiencia directa o inmediata. La causalidad es una categoría aplicada para traer orden a la experiencia objetivada reproducida en símbolos. Dentro de ésta, tratamos de *explicar* fenómenos mentales y de la conducta como causalmente determinados, y lo logramos con aproximación siempre mayor tomando en cuenta cada vez más factores de motivación, puliendo modelos conceptuales, etc. El albedrío no está *determinado* sino que es *determinable*, particularmente en los aspectos promediables y parecidos a los de una máquina y similares a los del comportamiento, según saben los investigadores de la motivación y los estadísticos. Sin embargo, causalidad no es necesidad metafísica sino un instrumento que ordena la experiencia, y hay otras «perspectivas» (capítulo X) de igual o superior categoría.

(4) Separada de la cuestión epistemológica está la cuestión moral y legal de la *responsabilidad*. La responsabilidad es juzgada siempre dentro de un marco simbólico de valores, de los que acepta una sociedad en circunstancias dadas. Por ej., las reglas de M'Naghten, que exculpan al delincuente si «no puede distinguir lo bueno de lo malo», significan de hecho que el criminal queda sin castigo si tiene obliterada la comprensión simbólica; de este modo su comporta-

miento está determinado sólo por pulsiones «animales». Está prohibido matar, y se castiga como homicidio dentro de la trama simbólica del estado ordinario de la sociedad, pero en otro marco de valores, en guerra, se manda matar (y se castiga a quien no acepta la orden).

X. La relatividad de las categorías

La hipótesis de Whorf

Entre los adelantos recientes en las ciencias antropológicas, difícilmente habrá punto de vista que haya merecido tanta atención y ocasionado tanta controversia como el adelantado por el difunto Benjamin Whorf. La hipótesis que propone Whorf es

> que la creencia comúnmente sostenida de que los procesos cognoscitivos de todos los seres humanos poseen una estructura lógica común que opera anteriormente a la comunicación e independientemente de ella, es errónea. Juzga Whorf que son las pautas lingüísticas mismas las que determinan lo que un individuo percibe en el mundo y cómo lo piensa. En vista de que tales pautas varían ampliamente, los modos de pensar y percibir de grupos que utilicen distintos sistemas lingüísticos conducirán a visiones del mundo básicamente diferentes. (Fearing, 1954.)

> Ingresamos, pues, en un nuevo concepto de relatividad, según el cual todos los observadores no son guiados por la misma evidencia física hacia el mismo cuadro del universo, a no ser que se parezcan sus trasfondos lingüísticos... Segmentamos y organizamos tal como lo hacemos el ámbito y el correr de los sucesos, en gran medida porque, en virtud de nuestra lengua materna, participamos en un acuerdo de hacerlo así, y no porque la naturaleza misma esté segmentada precisamente de ese modo y todo el mundo pueda darse cuenta de ello. (Whorf, 1952, p. 21.)

Por ejemplo, en las lenguas indoeuropeas los sustantivos, los adjetivos y los verbos aparecen como unidades gramaticales básicas, y una oración es, ni más ni menos, una combinación de estas partes. Este esquema de una entidad persistente separable de sus propiedades, y de comportamiento activo o pasivo, es fundamental para las categorías del pensamiento occidental, desde las categorías aristotélicas de «sustancia», «atributos» y «acción» a las antítesis de materia y fuerza, masa y energía en física.

Lenguas indígenas de América, como el nootka (isla de Vancouver) o el hopi, no tienen partes de la oración ni sujeto y predicado separables. Significan, en lugar de esto, un acontecimiento como un todo. «Relampagueó una luz», decimos, o, haciendo intervenir una dudosa entidad hipostasiada, «relampagueó». En hopi basta con «relámpago» [hubo]*.

Sería importante aplicar los métodos de la lógica matemática a estos lenguajes. ¿Será posible trasladar enunciados en lenguas como el nootka o el hopi a la notación logística usual, o será ésta una formalización de la estructura de las lenguas indoeuropeas? Se diría que este importante tema no ha sido investigado.

Las lenguas indoeuropeas hacen hincapié en el tiempo. El «toma y daca» entre lenguaje y cultura conduce, según Whorf, a que se lleven registros, diarios, a las matemáticas estimuladas por contabilidades; a calendarios, relojes, cromologia, el tiempo que usa la física; a la actitud histórica, al interés en el pasado, la arqueología, etc. Es interesante comparar esto con la concepción spengleriana del papel central del tiempo en la imagen occidental del mundo

---

* Éste y otros ejemplos de la argumentación de Whorf son criticados por Whatmough (1955). «Como demostró Brugmann (*Syntax des einfachen Satzes*; 1955, pp. 17-24). *fulget*, *pluit*, *tonat* son sencillamente viejos temas en *ti* (nombres «relampagueo ahí, lluvia ahí, trueno ahí»), y Whorf está rotundamente equivocado al afirmar que *tonat* (usó esta mismísima palabra) no tiene paralelo en hopi, estructural y lógicamente. Asimismo, «se nos informa de que 'preparar' en hopi es 'probar para', 'practicar sobre'. Ahora bien, esto es exactamente *prae-paro*.» «No sirve decir que la física hopi no podría haber tenido conceptos como los de espacio, velocidad y masa, o que habrían sido muy diferentes de los nuestros. Los hopi no tienen física porque el tabú o la magia les impiden la investigación experimental.» Aunque haya que rendirse a la autoridad del lingüista, parece ampliamente demostrado que el estilo de pensamiento difiere entre las civilizaciones, aunque esté abierto a la crítica el supuesto de Whorf de que esto se deba en forma más o menos exclusiva a factores lingüísticos.

(cf. pp. ss), que llega a idéntica conclusión partiendo de otro punto de vista.

Sin embargo, la distinción evidente por sí misma —para nosotros— entre pasado, presente y futuro no existe en la lengua hopi. No distingue tiempos sino que indica la validez del enunciado: hecho, memoria, expectación, costumbre. En hopi no hay diferencia entre «él corre», «está corriendo», «corrió»: todo es *wari*, «hay correr». La expectación se indica con *warinki* («hay correr diría [yo]»), que cubre «él correrá», «correría». Pero si se trata del enunciado de una ley general, se aplica *warikngwe* («hay correr, característicamente») (La Barre, 1954, pp. 197*ss*). El hopi «carece de noción general o intuición del tiempo como un continuo en fluir uniforme, dentro del cual todo procede en el universo a ritmo igual, desde el futuro, por el presente hasta el pasado» (Whorf, 1952, p. 67). En lugar de nuestras categorías de espacio y tiempo, el hopi prefiere distinguir lo manifiesto, todo lo que es accesible a los sentidos, sin distinguir presente y pasado, y lo «no manifiesto», que comprende el futuro así como lo que llamamos mental. El návajo (cf. Kluckhohn y Leighton, 1951) tiene poco desarrollados los tiempos, el hincapié se hace en los tipos de actividad, y así se distinguen aspectos de la acción durativo, perfectivo, usitativo, repetitivo, iterativo, optativo, semifactivo, momentáneo, progresivo, transicional, conativo, etc. Podría afirmarse que lo que primero le importa a cualquier lengua indoeuropea es el tiempo; al hopi la validez; al návajo el tipo de actividad (según comunicación personal del profesor Kluckhohn).

Pregunta Whorf:

> ¿Cómo se construiría una física siguiendo estos lineamientos, sin *t* (tiempo) en sus ecuaciones? Perfectamente, por lo que se me alcanza, aunque, por supuesto, requeriría diferente ideología y a lo mejor diferentes matemáticas. Claro está que *v* (velocidad) tendría que desaparecer también. (1952, p. 7.)

No hay que dejar de mencionar que existe de hecho una física intemporal, la estática griega (cf. p. 246). Para nosotros es parte de un sistema más vasto, la dinámica, para el caso particular en que $t \to \infty$, es decir, cuando el tiempo tiende a infinito y sale de las ecuaciones.

Por lo que respecta al espacio, las lenguas indoeuropeas propenden mucho a expresar relaciones no espaciales merced a metáforas

espaciales: duraciones largas o cortas; intensidades altas o bajas; tendencias a ascender o descender; expresiones latinas como *educo, religio, comprehendo* como referencias metafóricas espaciales («corpóreas» acaso fuese más correcto): guiar afuera, atar, etc*.

No pasa otro tanto en hopi, donde, al contrario, las cosas físicas son nombradas mediante metáforas psicológicas. Así, la palabra hopi para «corazón» es —puede mostrarse— de formación tardía a partir de una raíz que significa «pensar» o «recordar». La lengua hopi es, como afirma Whorf, capaz de dar razón —y de describirlos correctamente, en sentido pragmático u observacional— de todos los fenómenos observables del universo. Sin embargo, la metafísica implícita es enteramente diferente, pues es más bien un pensar animista o vitalista, próximo a la experiencia mística de la unidad.

De ahí que Whorf sostenga que «el espacio, el tiempo y la materia newtonianos no son intuiciones. Son recetas de la cultura y el lenguaje.» (1952, p. 40.)

> Así como es posible disponer de cualquier número de geometrías aparte de la euclidiana, que den razón igualmente perfecta de las configuraciones espaciales, también pueden darse descripciones del universo, todas igualmente válidas, que no incluyen nuestro contraste familiar entre espacio y tiempo. El punto

---

* Es interesante hacer constar que Lorenz (1943) expresó exactamente el mismo punto de vista en términos de la determinación biológica de las categorías: «Los términos que el lenguaje ha formado para las funciones supremas de nuestro pensamiento racional llevan aún tan clara la impronta de su origen, que pudieran provenir del 'lenguaje profesional' del chimpancé. 'Discernimos' en tramas complicadas como el mono en un enredijo de ramas, no hallamos mejor expresión para nuestras vías más abstractas de alcanzar metas que 'método', que viene a ser 'rodeo'. Nuestro espacio táctil disfruta —como si fuera desde los lémures no saltadores— de una particular preponderancia sobre el visual. Así 'captamos' *(erfasst)* una 'conexión' *(Zusammenhang)* sólo si la 'comprendemos' (*begreifen*: agarrar). También la noción de objeto (*Gegenstand*, lo que se nos enfrenta) se originó en la percepción háptica del espacio... Incluso el tiempo es representado, para bien o para mal, en términos del modelo visualizable del espacio (p. 344)... El tiempo es absolutamente invisualizable y, en nuestro pensamiento categórico, se hace visualizable siempre [¿acaso un prejuicio occidental? —L.v.B.] sólo merced a procesos espaciotemporales... El curso del tiempo' es simbolizado, lingüística y es cierto que también conceptualmente, por movimiento en el espacio (el correr del tiempo). Hasta nuestras preposiciones..., nuestros nombres 'pasado, presente, futuro' tienen originalmente connotaciones que representan configuraciones espaciotemporales de movimiento. Apenas es posible despojarlas del elemento de movimiento en espacio» (pp. 351*ss*).

de vista relativista de la física moderna es una cosa así, concebida en términos matemáticos, y otra lo es la *Weltanschauung* hopi, bien diferente, no matemática y lingüística. (Whorf, 1952, p. 67.)

El modo mecanicista de pensar, que tropieza con dificultades en los modernos adelantos científicos, es consecuencia de nuestras categorías y hábitos lingüísticos específicos, y Whorf confía en que mayor idea de la diversidad de sistemas lingüísticos podrá contribuir a la reevaluación de conceptos científicos.

La Barre (1954, p. 301) ha resumido vívidamente este punto de vista:

La sustancia y el atributo aristotélicos se parecen notablemente a los nombres y adjetivos predicados indoeuropeos... La ciencia más moderna bien puede plantear la cuestión de si las formas kantianas, o «espectáculos» gemelos del tiempo y el espacio (sin los cuales nada podemos percibir), no serán, por un lado, puros tiempos verbales indoeuropeos, y, por otro, la estereoscopia y la cinestesia y los procesos vitales humanos —lo cual podría expresarse más económicamente en términos de la *c*, velocidad constante de la luz, en la fórmula de Einstein. Pero debemos recordar siempre que $E=mc^2$ tampoco es más que una concepción gramatical de la realidad en términos de categorías indoeuropeas del lenguaje. Un Einstein hopi, chino o esquimal pudiera describir, merced a sus hábitos gramaticales, conceptualizaciones matemáticas del todo distintas, con que percibir la realidad.

El presente trabajo no pretende discutir los problemas lingüísticos planteados por Whorf, lo cual se hizo a fondo en un coloquio reciente (Hoijer *et al.*, 1954). Sin embargo, al presente autor se le ha ocurrido que lo que es conocido como hipótesis whorfiana no es enunciado aislado de un individuo algo extravagante. Más bien la hipótesis whorfiana de la determinación lingüística de las categorías de la cognición es parte de una revisión general del proceso cognoscitivo. Está incluida en una impetuosa corriente del pensamiento moderno, cuyas fuentes están en la filosofía así como en la biología. Se diría que estas conexiones no son apreciadas en la medida que merecen.

El problema general planteado puede ser expresado como sigue: ¿en qué medida las categorías de nuestro pensamiento son modeladas por factores biológicos y culturales y dependen de ellos? Es evidente que, puestas así las cosas, el problema rebasa con mucho las fronteras de la lingüística y toca la cuestión de los fundamentos del conocimiento humano.

Semejante análisis tendrá que comenzar con la visión del mundo clásica, absolutista, que halló expresión cumbre en el sistema kantiano. De acuerdo con la tesis de Kant, hay las llamadas formas de la intuición, el espacio y el tiempo, y las categorías del intelecto, como la sustancia, la causalidad y otras, que se imponen universalmente a cualquier ser racional. De acuerdo con esto, la ciencia, basada en tales categorías, es igualmente universal. La ciencia física que usa estas categorías a priori, a saber, el espacio euclidiano, el tiempo newtoniano y causalidad determinista estricta, es prácticamente la mecánica clásica, la cual es, por tanto, el sistema absoluto del conocimiento, aplicable a cualquier fenómeno así como a cualquier mente como observador.

Es un hecho bien conocido que la ciencia moderna reconoció hace mucho que no es así. No hay necesidad de insistir en el punto. El espacio euclidiano no es sino una forma de geometría, al lado de la cual existen otras, no euclidianas, con exactamente la misma estructura lógica y el mismo derecho de existir. La ciencia moderna aplica la clase de espacio y de tiempo que más le conviene para describir los acontecimientos de la naturaleza. En el mundo de las dimensiones intermedias, el espacio euclidiano y el tiempo newtoniano son aplicables a modo de aproximaciones satisfactorias. Pero al transitar a las dimensiones astronómicas o a los aconteceres atómicos hay que hacer intervenir espacios no euclidianos o los espacios configuracionales multidimensionales de la teoría cuántica. En la teoría de la relatividad, el espacio y el tiempo se funden en la unión de Minkowski, donde el tiempo es otra coordenada de un continuo de cuatro dimensiones, si bien de carácter un tanto peculiar. La materia sólida, la parte más firme de la experiencia y la más trivial de las categorías de la física ingenua, consiste casi por entero en vacío salpicado de centros de energía que, considerando su magnitud, están separados por distancias astronómicas. La masa y la energía, cuantificaciones un tanto afinadas de la antítesis categórica de materia y fuerza, se presentan como expresiones de una realidad desconocida, intercambiables de acuer-

do con la ley de Einstein. De modo similar el determinismo estricto de la física clásica es sustituido en la física cuántica por indeterminismo, o más bien por saber que las leyes de la naturaleza tienen esencialmente carácter estadístico. Poco queda de las categorías kantianas, supuestamente a priori y absolutas. Dicho sea de paso, es sintomático de la relatividad de las visiones del mundo el que Kant, que en su época aparecía como el gran destructor de todo «dogmatismo», se nos presente a nosotros como paradigma del absolutismo y el dogmatismo gratuitos.

Se plantea así la pregunta de qué será lo que determine las categorías de la cognición humana. En tanto que en el sistema de Kant las categorías parecían ser absolutas para cualquier observador racional, ahora se presentan cambiantes con el adelanto del conocimiento científico. En este sentido, la concepción absolutista de otros tiempos y de la física clásica es reemplazada por un relativismo científico.

El tema de la presente discusión puede ser definido como sigue. Las categorías del conocimiento, del conocimiento cotidiano tanto como del científico, que en última instancia es un afinamiento de aquél, dependen, primero, de factores biológicos; segundo, de factores culturales; en tercer lugar, a pesar de esta maraña demasiado humana, es posible en cierto sentido el conocimiento absoluto, emancipado de las limitaciones humanas.

La relatividad biológica de las categorías

La cognición depende, ante todo, de la organización psicofísica del hombre. Nos referiremos aquí en particular a la actitud biológica moderna inaugurada por Jacob von Uexküll con el nombre de *Umwelt-Lehre*. Equivale, en sustancia, a afirmar que, del gran pastel de la realidad, cada organismo vivo corta una rebanada, que puede percibir y a la cual puede reaccionar gracias a su organización psicofísica, es decir, a la estructura de sus órganos receptores y efectores. Von Uexküll y Kriszat (1934) ofrecen imágenes interesantísimas de cómo el mismo segmento de la naturaleza se presenta a varios animales; hay que compararlas con los dibujos igualmente divertidos de Whorf, que muestran cómo es modelado el mundo de acuerdo con esquemas lingüísticos. Sólo mencionaremos unos cuantos ejemplos, elegidos en los extensos estudios de von Uexküll sobre el comportamiento.

Tómese, p. ej., un organismo unicelular como el paramecio. Su manera casi exclusiva de respuesta es la reacción de huida (fobotaxia), que manifiesta hacia los estímulos más diversos, químicos, táctiles, térmicos, fóticos, etc. Sin embargo, esta reacción sencilla es bastante para guiar al animal, carente de órganos sensorios específicos, a la región de condiciones óptimas. Tantas cosas como hay en el ambiente del paramecio, algas, otros infusorios, pequeños crustáceos, obstáculos mecánicos y demás, no existen para él. Sólo es recibido un estímulo, que desencadena la reacción de huida.

Como muestra este ejemplo, el plan organizacional y funcional de un ser viviente determina qué puede tornarse «estímulo» y «característica» a la cual el organismo responda con determinada reacción. De acuerdo con la expresión de von Uexküll, cualquier organismo, por decirlo así, recorta de la multiplicidad de los objetos circundantes un número reducido de características a las cuales reacciona y cuyo conjunto forma su «ambiente» (*Unwelt*). Todo lo demás es inexistente para este organismo particular. Todo animal está rodeado, como por una burbuja, de su ambiente específico, y abastecido de las características que le atañen. Si reconstruyendo el ambiente de un animal entramos en la burbuja, el mundo cambia profundamente: muchas características desaparecen, otras surgen, y resulta un mundo completamente nuevo.

Von Uexküll ha dado innumerables ejemplos que delinean los ambientes de varios animales. Tómese, p. ej., una garrapata al acecho en una mata hasta que pase un mamífero en cuya piel se instala y bebe sangre hasta saciarse. La señal es el olor del ácido butírico, que es segregado por las glándulas dérmicas de todos los mamíferos. Siguiendo este estímulo, se lanza; si cayó en un cuerpo caliente —lo cual le indica su sensible sentido térmico—, ha alcanzado la presa, un animal de sangre caliente, y sólo necesita, ayudada por el sentido táctil, un lugar sin pelo para perforarlo. Así el rico medio circundante de la garrapata se contrae hasta ser una breve configuración en la que sólo lucen, como faros, tres señales, suficientes, sin embargo, para guiar el animal con seguridad a su meta. O bien algunos erizos de mar responden a cualquier oscurecimiento apretando las espinas. Esta reacción es aplicada invariablemente contra toda nube o bote que pasa, o contra el verdadero enemigo, un pez que se acerque. Aunque el medio del erizo de mar contiene muchos objetos diferentes, su

ambiente sólo contiene una característica, a saber, opacamiento de la luz.

Este constreñimiento organizacional del ambiente llega incluso mucho más lejos de lo indicado por estos ejemplos (von Bertalanffy, 1937). También tiene que ver con las formas de intuición, consideradas a priori e inmutables por Kant. El biólogo encuentra que no hay espacio ni tiempo absolutos, sino que dependen de la organización del organismo que percibe. El espacio tridimensional euclidiano, en el que son equivalentes las tres coordenadas rectangulares, siempre fue identificado con el espacio a priori de la experiencia y la percepción. Pero hasta la simple contemplación muestra —y experimentos pertinentes prueban (von Allesch, 1931; von Skramlik, 1934, y otros)— que el espacio de la percepción visual y táctil no es euclidiano en modo alguno. En el espacio de la percepción las coordenadas no son en absoluto equivalentes, sino que hay una diferencia fundamental entre arriba y abajo, derecha e izquierda, delante y detrás. La organización de nuestro cuerpo, sin ir más lejos, y en última instancia el hecho de que el organismo esté sujeto a la gravedad, establece desigualdad entre las dimensiones horizontal y vertical. Se aprecia esto en seguida por un sencillo hecho que todo fotógrafo conoce. Experimentamos como algo correcto el que, de acuerdo con las leyes de la perspectiva, paralelas como los rieles del ferrocarril converjan en la distancia. Pero exactamente el mismo escorzo es experimentado como falso si aparece en la dimensión vertical. Si se tomó una fotografía con la cámara ladeada, obtenemos «líneas de caída», las aristas de una casa, p. ej., que convergen. Desde el punto de vista de la perspectiva, esto es tan correcto como los rieles convergentes, pero esta última perspectiva es experimentada como correcta, en tanto que las aristas convergentes de una casa se sienten falsas; la explicación es que el organismo humano es tal que tiene un ambiente con extensión horizontal considerable, pero extensión vertical desdeñable*.

Una relatividad parecida reina en el tiempo experimentado. Von Uexküll introdujo la noción de «instante» como la mínima unidad de tiempo percibido. Para el hombre, el instante es de alrededor de 1/18 de segundo, o sea que impresiones más cortas no son

* Hasta donde llega a verse, esta sencilla demostración de la estructura no euclidiana del espacio visual la dio primero von Bertalanffy (1937, p. 155), en tanto que, «cosa curiosa, no se alude a ello para nada en la bibliografía sobre fisiología de la percepción» (Lorenz, 1943, p. 335).

percibidas por separado sino que se funden. Resulta que la duración del instante no depende de condiciones de los órganos sensoriales sino del sistema nervioso central, en vista de que coincide para diferentes órganos de éstos. Esta fusión de imágenes es, por supuesto, la explicación del cinematógrafo, cuando se pasa de 18 imágenes por segundo y se funden en movimiento continuo. La duración del instante varía con las especies. Hay «animales de cámara lenta» (von Uexküll), que perciben mayor número de impresiones por segundo que el hombre. El pez luchador (*Betta*) no reconoce su imagen en un espejo si, mediante un dispositivo mecánico, se le presenta 18 veces por segundo. Hay que ponérsela al menos 30 veces por segundo; entonces el pez ataca a su imaginario contrincante. Así, estos animales pequeños y activísimos consumen un número de impresiones mayor que el que consume el hombre, por unidad de tiempo astronómico; el tiempo es decelerado. A la inversa, el caracol es un animal de «cámara rápida». Trepa por una vara que vibra cuatro veces por segundo; como quien dice, una vara con este ritmo de vibración le parece en reposo al caracol.

El tiempo experimentado no es newtoniano. Lejos de fluir uniformemente (*aequilabiliter fluit*, que escribió Newton), depende de condiciones fisiológicas. La llamada memoria temporal de los animales y el hombre parece determinada por un «reloj fisiológico». De esta suerte las abejas, condicionadas para llegar a cierta hora al lugar del alimento, aparecen en él antes o después si se les administran sustancias que incrementen o disminuyan su ritmo metabólico (p. ej. von Stein-Beling, 1935; Kalmus, 1934; Wahl, 1932, y otros).

El tiempo experimentado parece huir si está lleno de impresiones, y se arrastra si nos gana el tedio. En la fiebre, cuando la temperatura del cuerpo y el ritmo del metabolismo están aumentados, el tiempo parece demorarse, ya que aumenta el número de «instantes», en el sentido de Uexküll, por unidad astronómica. Paralelo a esta experiencia temporal corre un incremento correspondiente en la frecuencia de las ondas del cerebro (Hoagland, 1951). Con la edad, el tiempo parece ir más de prisa, por unidad astronómica de tiempo son experimentados menos instantes. De modo correspondiente, la velocidad de cicatrización de las heridas disminuye proporcionalmente a la edad, pues obviamente tanto los fenómenos psicológicos como los fisiológicos están vinculados a la deceleración de los procesos metabólicos en la senectud (du Nouÿ, 1937).

Se han hecho varios intentos (Brody, 1937; Backman, 1940; von Bertalanffy, 1951, p. 346) de establecer, frente al tiempo astronómico, uno biológico. Un método es homologar curvas de crecimiento: si el curso del crecimiento en diferentes animales es expresado por la misma fórmula y la misma curva, las unidades de la escala temporal (representada como tiempo astronómico) serán diferentes, y de seguro aparecerán importantes cambios fisiológicos en puntos correspondientes de la curva. Desde el punto de vista de la física es posible introducir un tiempo termodinámico, fundado en el segundo principio y en los procesos irreversibles, opuesto al tiempo astronómico (Prigogine, 1947). El tiempo termodinámico no es lineal sino logarítmico, puesto que depende de probabilidades; por la misma razón, es estadístico; y local por estar determinado por los acontecimientos en determinado punto. Es probable que el tiempo biológico esté relacionado con el termodinámico de manera íntima, aunque en modo alguno sencilla.

También la acción de sustancias pone de manifiesto cómo las categorías de la experiencia dependen de los estados fisiológicos. Bajo la influencia de la mezcalina, p. ej., las impresiones visuales se intensifican y la percepción del espacio y el tiempo experimenta profundos cambios (cf. Anschütz, 1953; A. Huxley, 1954). Sería de lo más interesante estudiar las categorías de los esquizofrénicos; es probable que se hallara que difieren considerablemente de las de la esperiencia «normal», como pasa en efecto con las categorías en la experiencia del soñar.

Aun la más fundamental categoría de la experiencia, la distinción entre yo y no yo, no está absolutamente fija. Parece evolucionar gradualmente en el desenvolvimiento del niño. Difiere, de plano, en el pensamiento animista de los primitivos (imperante todavía en la teoría aristotélica, donde todo «busca» su lugar natural) y en el pensamiento occidental a partir del Renacimiento, que «descubrió lo inanimado» (Schaxel, 1923). La separación objeto-sujeto desaparece asimismo en la visión empática del mundo del poeta, en el éxtasis místico y en estados de embriaguez.

No hay justificación intrínseca para considerar como «verdadera» representación del mundo la que tenemos por experiencia «normal» (o sea la experiencia del europeo adulto medio del siglo XX) ni para considerar todas las demás clases de experiencia —igualmente vividas— como simplemente anormales, fantásticas o, en el mejor

de los casos, precursoras primitivas de nuestra imagen «científica» del mundo.

Sería fácil abundar en la discusión de estos problemas, pero ya estará claro el punto de importancia para el tema presente. Las categorías de la experiencia o formas de intuición, por emplear el término de Kant, no son un a priori universal sino que dependen, antes bien, de la organización psicofísica y las condiciones fisiológicas del animal que experimenta, contado el hombre. Este relativismo desde el punto de vista biológico constituye un interesante paralelo al relativismo de las categorías visto desde el lado de la cultura y el lenguaje.

La relatividad cultural de las categorías

Llegamos al segundo punto, el de cómo dependen las categorías de factores culturales. Según mencionamos ya, la tesis whorfiana de la dependencia de las categorías con respecto a factores lingüísticos es parte de una concepción general del relativismo cultural que ha ido surgiendo en los pasados 50 años —aunque esto no sea del todo correcto, pues Wilhelm von Humboldt subrayó ya la dependencia de nuestra visión del mundo con respecto a factores lingüísticos y a la estructura del lenguaje.

Parece que esto comenzó en la historia del arte. A principios del siglo, el historiador vienés del arte Riegl publicó un tratado muy sabio y tedioso acerca de las artes romanas tardías. Introdujo el concepto de *Kunstwollen*, término que se traduciría por «intención artística». El carácter no naturalista del arte primitivo era concebido no como consecuencia de falta de habilidad o de recursos, sino como expresión de una intención artística que difiere de la nuestra, por no interesarse en una representación realista de la naturaleza. Lo mismo vale a propósito de la llamada degeneración del arte clásico en el período helenístico tardío. Esta concepción fue luego expandida por Worringer, quien demostró en el ejemplo del arte gótico que modos artísticos diametralmente opuestos al canon clásico no resultan de impotencia técnica sino de otra visión del mundo. No es que los escultores y pintores góticos no supieran cómo representar la naturaleza correctamente, sino que su intención era diferente, no orientada hacia el arte representativo. No hay que discutir el nexo entre estas teorías y el primitivismo y el expresionismo en el arte moderno.

Quiero ofrecer otro ejemplo del mismo fenómeno, instructivo por no tener que ver con la antítesis entre arte representativo y expresionista, objetivo y abstracto. Aparece en la historia del grabado de madera japonés.

Los grabados japoneses del período tardío aplican cierto tipo de perspectiva, conocido como perspectiva paralela, que difiere de la perspectiva central usada por el arte europeo desde el Renacimiento. Es bien sabido que a fines del siglo XVIII entraron en Japón tratados holandeses de perspectiva y que los estudiaron ávidamente los maestros del *ukiyoye* (grabado en madera). Adoptaron la perspectiva como un poderoso recurso para representar la naturaleza, mas sólo hasta cierto límite bien sutil. En tanto que la pintura europea emplea la perspectiva central, en la cual el cuadro está concebido desde un punto focal, y así las paralelas convergen en la distancia, los japoneses sólo aceptaron la perspectiva paralela, es decir, un modo de proyección en el cual el punto focal cae en el infinito, de manera que las paralelas no convergen. Podemos estar seguros que no fue falta de habilidad en eminentes artistas japoneses, como Hokusai y Hiroshige, que habrían luego de ejercer profunda influencia sobre el arte europeo moderno. De seguro no les habría costado nada adoptar un recurso artístico que inclusive les caía en las manos como cosa acabada. Más vale conjeturar que sintieron que la perspectiva central, dependiente del lugar del observador, era contingente y accidental y no representaba la realidad, ya que cambia conforme el observador se mueve de un lugar a otro. Parecidamente, los artistas japoneses nunca pintaban sombras. Por supuesto, no quiere esto decir que no las viesen o que no se metieran a la sombra si el sol era ardiente. Sin embargo, no quisieron pintarla, ya que la sombra no pertenece a la realidad de las cosas sino que no es más que apariencia cambiante.

De suerte que las categorías de la creación artística parecen depender de la cultura en cuestión. Es bien sabido que Spengler expandió esta tesis hasta incluir categorías cognoscitivas. Según él, el llamado a priori contiene, junto a unas pocas formas de pensamiento universalmente humanas y lógicamente necesarias, también formas de pensamiento que son universales y necesarias no para la humanidad en su totalidad sino sólo para la civilización particular de que se trate. Hay así varios «estilos de cognición» diferentes, característicos de ciertos grupos de seres humanos. Spengler no niega la validez universal de las leyes formales de la lógica ni de las *verités*

de fait empíricas. Defiende, sin embargo, la relatividad de los a priori de contenido en ciencia y filosofía. Es en este sentido como Spengler afirma la relatividad de las matemáticas y la ciencia matemática. Las fórmulas matemáticas como tales son portadoras de necesidad lógica, pero su interpretación visualizable que les da sentido es una expresión del «alma» de la civilización que las creó. De este modo nuestra imagen científica del mundo tiene sólo validez relativa. Sus conceptos fundamentales, como los de espacio infinito, fuerza, energía, movimiento, etc., son expresión de nuestra mentalidad occidental y no valen para la imagen del mundo que se forman otras civilizaciones.

El análisis que principalmente sustenta el relativismo cultural de Spengler acerca de las categorías es su famosa antítesis entre los hombres apolíneo y faústico. Según él, el símbolo primigenio de la mente apolínea de la Antigüedad es la existencia material y corporal de los individuos; el de la mente fáustica de Occidente es el espacio infinito. Así, «espacio» para los griegos es el μὴ ὄν, lo que no es. En consecuencia, la matemática apolínea es una teoría de magnitudes visualizables que culmina en la estereometría y la construcción geométrica, lo cual, para las matemáticas occidentales, constituye un tema elemental sin mayor consecuencia. Las matemáticas occidentales, gobernadas por el símbolo primigenio del espacio infinito, son, en contraste, una teoría de relaciones puras que culmina en el cálculo diferencial, la geometría de los espacios pluridimensionales, etc., totalmente inconcebible para los griegos, por no ser visualizables.

Hay otra antítesis entre el carácter estático del pensamiento griego y el dinámico del pensamiento occidental. Para el físico griego, digamos, un átomo era un cuerpo plástico en miniatura; para la física occidental es un centro de energía que irradia acciones por un espacio infinito. Ligado a ello está el sentido del tiempo. La física griega no contenía una dimensión temporal; ahí está la raíz de que sea una ciencia estática. A la física occidental le incumbe muchísimo el curso temporal de los acontecimientos; la noción de entropía es seguramente la concepción más honda del sistema. De esta atención al tiempo se sigue además la orientación histórica de la mente occidental expresada en la influencia dominante del reloj, en la biografía del individuo, en el enorme panorama de la «historia universal», de la historiografía a la historia cultural y la antropología, la evolución biológica, la historia geológica y

por último la historia astronómica del universo. También se manifiesta el mismo contraste en la concepción de la mente. La psicología estática griega concibe un alma corporal armoniosa cuyas «partes», de acuerdo con Platón, son la razón (λογιστικον), la emoción (θυμοειδής) y la catexia (ἐπιθυμητικον). La psicología dinámica occidental imagina un espacio anímico donde interactúan fuerzas psicológicas.

Sin suscribir la metafísica y el método intuitivo de Spengler, y dejando a un lado detalles discutibles, difícil será negar que su concepción de la relatividad cultural de las categorías es esencialmente correcta. Basta recordar los primeros versos de la Ilíada, que cuentan que los héroes de la guerra de Troya αὐτοὺς δὲ ἑλώρια τεῦχε κύνεσσιν, o sea que fueron dados como presa a los perros y aves, por ser el sujeto más que nada su cuerpo o σῶμα. Compárese esto con el *cogito ergo sum* de Descartes, y resulta evidente el contraste entre la mente apolínea y la fáustica.

En tanto que los filósofos alemanes de la historia se ocupaban de las pocas altas culturas *(Hochkulturen)*, es sello y mérito de la moderna antropología, en particular la estadounidense, tomar en cuenta el campo entero de las «culturas» humanas, incluyendo la multiplicidad exhibida por los pueblos primitivos. Así la teoría del relativismo cultural adquiere más amplia base, y es notable que las conclusiones a las que se llega se parezcan tanto a las de los filósofos alemanes. En particular, la tesis whorfiana es casi idéntica a la spengleriana —basada la una en las lenguas de tribus primitivas, la otra en un panorama general de las pocas altas culturas de la historia*.

Parece, pues, bien establecido que las categorías de la cognición dependen, primero, de factores biológicos, segundo, de factores culturales. Tal vez sea adecuada la siguiente formulación.

Nuestra percepción está determinada más que nada por nuestra organización psicofísica específicamente humana. Tal es la tesis de von Uexküll. Las categorías lingüísticas, y culturales en general, no alterarán las potencialidades de la experiencia sensoria, pero modificarán, en cambio, la apercepción, o sea qué rasgos de la

* Kluckhohn (1954) ofrece un excelente análisis de la dependencia, con respecto a la cultura, de la percepción, la cognición, el afecto, la evaluación, los procesos inconscientes, el comportamiento normal y anormal, etc. Remitimos a este trabajo al lector en busca de amplios testimonios antropológicos.

realidad experimentada serán enfocados y subrayados y cuáles tenidos en poco.

Nada hay de misterioso ni de particularmente paradójico en esta afirmación que, por lo contrario, es más bien trivial; nada que justifique el calor y la pasión que tantas veces han caracterizado las disputas en torno a la tesis whorfiana, spengleriana y parecidas. Supóngase que una preparación histológica es estudiada al microscopio. Cualquier observador que no sea daltoniano percibirá la misma imagen, diversas formas y colores, etc., que se deben a los tintes histológicos. Sin embargo, lo que en verdad ve —lo que es su apercepción—, y lo que es capaz de comunicar, depende en gran medida de que sea o no un observador adiestrado. Donde para el lego no hay más que un caos de formas y colores, el histólogo ve células con sus varios componentes, diversos tejidos, y señales de desarrollo maligno. Incluso esto dependerá de por dónde anden sus intereses y su preparación. Puede ser que el citoquímico advierta finas granulaciones en el citoplasma de células, lo cual representa para él determinadas inclusiones químicamente definidas, en tanto que el patólogo quizá no repare en semejantes minucias y lo que «vea» sea cómo se ha infiltrado un tumor en el órgano. Lo que se ve, entonces, depende de nuestra apercepción de los rumbos de nuestra atención e interés, lo cual a su vez está determinado por el adiestramiento por símbolos lingüísticos mediante los cuales representamos y resumimos la realidad.

No menos trivial es el hecho de que un mismo objeto resulte del todo diferente si se considera desde diferentes puntos de vista. La mesa es para el físico un agregado de electrones, protones y neutrones, para el químico un revoltijo de compuestos orgánicos, para el biólogo un complejo de células leñosas, para el historiador del arte un objeto barroco, para el economista un bien de determinado valor monetario, etc. Todas estas visiones tienen igual condición y ninguna puede aspirar a valer en absoluto más que la otra (cf. von Bertalanffy, 1953b). O, por tomar un ejemplo algo menos obvio, las formas orgánicas pueden ser consideradas desde distintos puntos de vista. La tipología las considera expresiones de diferentes planes de organización; la teoría de la evolución, productos de un proceso histórico; la morfología dinámica, expresiones de una interacción de procesos y fuerzas cuyas leyes matemáticas se buscan (von Bertalanffy, 1941). Cada una de estas maneras de ver las cosas

es perfectamente legítima, y no tiene el menos caso pretender enfrentar la una a la otra.

Lo que resulta evidente en estos ejemplos especiales es también válido a propósito de qué rasgos de la realidad serán captados en nuestra imagen general del mundo. En el desenvolvimiento de la ciencia constituye una línea importante el que sean «vistos» aspectos nuevos, antes inadvertidos; que caigan en el foco de la atención y la apercepción. Y a la inversa, es un grave obstáculo que las gafas de tal o cual concepción teórica impiden darse cuenta de fenómenos que son en sí mismos perfectamente obvios. La historia de la ciencia es rica en ejemplos de estos géneros. Por ej., las gafas teóricas de cierta «patología celular» unilateral impedían, ni más ni menos, ver que hay relaciones de regulación en el organismo en conjunto, el cual es más que una suma o agregado de células —relaciones que Hipócrates conocía y que disfrutan de una feliz resurrección en la moderna doctrina de las hormonas, de los somatotipos y demás. El evolucionista moderno, guiado por la teoría de la mutación al azar y la selección, no advierte que un organismo es sin duda algo más que un puñado de características hereditarias o genes barajados por accidente. El físico mecanicista no veía las llamadas cualidades secundarias como el color, el sonido, el sabor, etc., pues no ajustaban en su sistema de abstracciones, si bien son lo mismo de «reales» que las «cualidades primarias» supuestamente básicas —masa, impenetrabilidad, movimiento, etc.—, cuya condición metafísica resulta igual de dudosa, según el testimonio de la física moderna.

Otra formulación posible de la misma situación, pero haciendo hincapié en otro aspecto, es la siguiente. La percepción es universalmente humana, determinada por la dotación psicofísica del hombre. La conceptualización está vinculada a la cultura, por depender de los sistemas simbólicos que aplicamos. Tales sistemas están determinados en gran medida por factores lingüísticos, por la estructura del lenguaje usado. El lenguaje técnico, incluyendo el simbolismo de las matemáticas, es en última instancia una eflorescencia del lenguaje cotidiano, de suerte que no será independiente a la estructura de este último. Esto, claro, no significa que el contenido de las matemáticas sólo sea «verdadero» en determinada cultura. Es un sistema tautológico de naturaleza hipotético-deductiva; de ahí que cualquier ser racional que acepte las premisas tenga que convenir en todas las deducciones. Pero lo que depende del contexto cultural

es qué aspectos o perspectivas serán matematizados. Es perfectamente posible que individuos y culturas diferentes muestren diferentes predilecciones en la elección de unos aspectos y el descuido de otros*. De ahí, p. ej., la preocupación griega por los problemas geométricos y la de las matemáticas occidentales por el cálculo, como subrayó Spengler; de ahí la aparición de campos no ortodoxos en matemáticas, como la topología, la teoría de los grupos, la de los juegos, y así por el estilo, que no encajan en la noción popular de las matemáticas como «ciencia de cantidades»; de ahí la preferencia de un físico por —digamos— la termodinámica clásica «macroscópica» o la estadística molecular «microscópica», la mecánica de matrices o la mecánica ondulatoria, para vérselas con los mismos fenómenos. O, hablando más en general, el tipo analítico de mente, ocupado en lo que se llaman interpretaciones «moleculares» —la resolución, la reducción de fenómenos a componentes de índole elemental—, y el tipo holista, que labora con interpretaciones «molares» —que se interesa en las leyes que rigen el fenómeno como un todo. Mucho ha sido dañada la ciencia a fuerza de oponer un aspecto al otro, y así, en el enfoque «elementalista», desdeñar y negar caracteres ostensibles y de lo más importantes, o, en el caso holista, rechazar la importancia y necesidad fundamental del análisis.

Puede mencionarse de pasada que la relación entre lenguaje y visión del mundo no es unidireccional sino recíproca, hecho que acaso Whorf no dejara lo bastante en claro. La estructura del lenguaje parece determinar qué rasgos de la realidad serán abstraídos, y con ello qué forma adoptarán las categorías del pensamiento. Por otro lado, el cómo sea visto el mundo determina y forma el lenguaje.

Buen ejemplo es la evolución del latín clásico al medieval. La visión gótica del mundo recreó una lengua antigua, tanto en el léxico como en lo gramatical. Los escolásticos inventaron multitud de palabras que son atrocidades desde el punto de vista del lenguaje de

* Hallo que Toynbee (1954, pp. 699*ss*), en su comentario —por lo demás no abiertamente amistoso— de la teoría spengleriana de los tipos de pensamiento matemático, llega a una formulación idéntica. Habla de diferencias de *penchant* entre las civilizaciones, hacia determinados tipos de razonamiento matemático, lo cual coincide con la noción, antes usada, de «predilección». Lo esencial de la interpretación de Spengler por el presente autor fue expuesto en 1924, y no ha encontrado razón para modificarlo.

Cicerón (lo cual les llegó muy hondo a los humanistas del Renacimiento, en su afán revivificador), palabras destinadas a designar aspectos abstractos ajenos a la mente romana, que pensaba tanto en términos corpóreos: *leonitas*, *quidditas* y lo demás. Asimismo, por mucho que fueran observadas las reglas superficiales de la gramática, se alteró profundamente la línea de pensamiento y construcción. Esto también se aplica al aspecto retórico, como en la implantación de la rima terminal, en contraste con la métrica clásicos. Basta comparar, p. ej., las líneas colosales del *Dies irae* con una estrofa virgiliana u horaciana para que sea palmaria no solamente la tremenda brecha que separa diferentes «sentires del mundo», sino la determinación que éstos ejercen sobre el lenguaje.

La visión perspectivista

Habiendo señalado la relatividad biológica y cultural de las categorías de la experiencia y la cognición, indicaremos asimismo los límites de dicha relatividad y llegaremos con ello al tercer tema anunciado al principio.

El relativismo ha sido con frecuencia formulado a fin de expresar el carácter puramente convencional y utilitario del conocimiento, y con el trasfondo emocional de su futilidad final. Es fácil ver, sin embargo, que nada implica semejante consecuencia.

Para esta discusión, serán punto de partida conveniente los puntos de vista acerca del conocimiento humano expuestos por Uexküll a propósito de su *Umweltlehre*, y que discutimos antes. Según él, el mundo de la experiencia y el conocimiento humanos es uno de los innumerables ambientes de los organismos, sin nada de singular en comparación con el del erizo de mar, la mosca o el perro. Hasta el mundo de la física, de los electrones y átomos a las galaxias, no pasa de ser un producto humano, dependiente de la organización psicofísica de la especie.

No obstante, tal concepción parece ser incorrecta. Lo cual es visible en los niveles tanto de la experiencia como del pensamiento abstracto, de la vida cotidiana y de la ciencia.

Por lo que atañe a la experiencia directa, las categorías de la percepción tal como las determina la organización biofisiológica de la especie en cuestión no pueden ser completamente «erradas», fortuitas y arbitrarias. En vez de eso, deben corresponder, en cierto

modo y en cierto grado, a la «realidad» —signifique esto lo que sea en plan metafísico. Todo organismo, el hombre incluido, no es un mero *espectador que contemple* la escena universal y sea libre de ponerse las gafas, tan deformantes como se quiera, que le endosen en la metafórica nariz los caprichos de Dios, de la evolución biológica, del «alma» de la cultura, o del lenguaje. Es *reactor y actor* en el drama. El organismo tiene que reaccionar a estímulos procedentes de fuera, de acuerdo con su dotación psicofísica innata. Hay latitud en lo que es captado como estímulo, señal y característica en el sentido de Uexküll. Con todo, su percepción debe permitirle al animal dar con su camino en el mundo. Se diría que esto es imposible si las categorías de *la experiencia*, como el espacio, el tiempo, la sustancia, la causalidad, fuesen enteramente engañosas. Las categorías de la experiencia han surgido en la evolución biológica y han tenido que justificarse sin cesar en la lucha por la existencia. De *no corresponder* de algún modo a la realidad, sería imposible la reacción apropiada, y un organismo así quedaría eliminado en seguida por selección.

Hablando en términos antropomórficos: un grupo de esquizofrénicos *que comparta* sus figuraciones puede salir muy bien adelante; sin embargo, sus miembros son totalmente incapaces de reaccionar y adaptarse a las situaciones exteriores reales; tal es precisamente la razón de que estén encerrados. O, siguiendo el símil platónico, los prisioneros de la cueva no ven las cosas reales, ven sus sombras, pero si no sólo contemplan el espectáculo sino que tienen que participar en la representación, las sombras deben ser de alguna manera representativas de las cosas reales. Se diría que el más grave pero de la filosofía occidental clásica, de Platón a Descartes y Kant, es el considerar al hombre primariamente como espectador, como *ens cogitans*, cuando, por razones biológicas, tiene que ser por encima de todo ejecutante, *ens agens* en el mundo al que ha sido lanzado.

Lorenz (1943) ha mostrado de modo convincente que las formas a priori *de la experiencia tienen en* el fondo la misma naturaleza que los esquemas innatos del comportamiento instintivo, de acuerdo con los cuales los animales responden a semejantes, parejas, descendencia o progenitores, presas o predadores, y a otras situaciones externas. Se basan en mecanismos psicofisiológicos, tal como la percepción del espacio se funda en la visión binocular, el paralaje, contracción del músculo ciliar, el aparente aumento o disminución de los objetos que se acercan o alejan, etc. Las formas a priori de

la intuición y las categorías son funciones orgánicas basadas en estructuras corpóreas y hasta parecidas a máquinas, los órganos de los sentidos y el sistema nervioso, que se han desenvuelto como adaptaciones en millones de años de evolución. De ahí que estén ajustadas al mundo «real» exactamente del mismo modo y por la misma razón que el casco del caballo está adaptado a la estepa, o la aleta del pez al agua. Es absurdo antropomorfismo suponer que las formas humanas de la experiencia son las únicas posibles, válidas para todo ser racional. Por otra parte, el imaginarse que las formas de la experiencia son un aparato adaptativo, puesto a prueba en millones de años de lucha por la existencia, garantiza que hay suficiente correspondencia entre «apariencia» y «realidad». Todo estímulo es experimentado no como es, sino como reacciona el organismo ante él, y así la imagen del mundo está determinada por la organización psicofísica. Ahora bien, cuando un paramecio reacciona con su fobotaxia, el observador humano, con todo y ser tan diferente su visión del mundo, también descubre un obstáculo mirando por el microscopio. Similarmente, es bien posible indicar qué rastros de la experiencia corresponden a la realidad, y cuáles no, comparables a los ribetes de colores en el campo de un microscopio sin corrección acromática. La pregunta de Pilato —¿qué es la verdad?— ha de ser contestada así: ya el hecho de que los animales y los seres humanos sigan existiendo prueba que sus formas de experiencia corresponden, en cierto grado, a la realidad.

En vista de ello, es posible definir qué quiere decir la expresión, intencionalmente vaga, usada arriba: que la experiencia debe corresponder «en cierto modo» a «la realidad, sea lo que sea lo que esto signifique». No se requiere que las categorías de la experiencia correspondan cabalmente al universo real, y menos aun que lo representen por completo. Basta —y es la tesis de Uexküll— que se empleen como señales un surtido bastante exiguo de estímulos. En cuanto a las conexiones de estos estímulos, es decir, las categorías de la experiencia, no necesitan reflejar el nexo de los acontecimientos reales sino serles isomorfas, con cierta tolerancia. Por las razones biológicas mencionadas antes, la experiencia no puede ser del todo «equivocada» y arbitraria; pero, por otra parte, basta que exista cierto grado de isomorfismo entre el mundo experimentado y el «real», de manera que la experiencia consiga guiar al organismo a fin de preservar su existencia.

Por usar otro símil, el signo de «rojo» no es idéntico a los

varios peligros que designa —coches que vienen, trenes, peatones que cruzan, etc. Basta, sin embargo, con indicarlos, y el rojo es isomorfo con «alto», el verde con «siga».

Tampoco las categorías de la percepción y la experiencia tienen que reflejar el mundo «real»; deben, eso sí, serle isomorfas en grado tal que permita la orientación y así la supervivencia.

Pues bien, estos requisitos deductivos son precisamente lo que encontramos. Las formas populares de la intuición y las categorías, tales como espacio, tiempo, materia y causalidad, funcionan harto bien en el mundo de las «dimensiones medianas» al cual está biológicamente adaptado el animal humano. Aquí la mecánica newtoniana y la física clásica, basadas en estas categorías visualizables, son perfectamente satisfactorias. Se vienen abajo, en cambio, al entrar en universos a los que el organismo humano no está adaptado. Tal es el caso, por un lado, en las dimensiones atómicas; por el otro, en las cósmicas.

Pasando ahora al mundo de la ciencia, la concepción uexkülliana del universo físico como sólo uno de los innumerables ambientes biológicos es incorrecta, o cuando menos incompleta. Aquí interviene una tendencia de lo más notable en lo que llamaríamos la desantropomorfización progresiva de la ciencia (von Bertalanffy, 1937, 1953b). Se diría que esta desantropomorfización se realiza siguiendo tres líneas principales.

Es característica esencial de la ciencia el que desantropomorfice progresivamente, esto es, que elimine progresivamente aquellos rasgos debidos a la experiencia específicamente humana. La física empieza por fuerza con la experiencia sensorial del ojo, el oído, el sentido térmico, etc., y constituye así campos como la óptica, la acústica, la teoría del calor, que corresponden a los reinos de la experiencia sensoria. Pero pronto estos campos se funden en lo que ya no tiene relación con lo «visualizable» o «intuible»: la óptica y la electricidad se funden en la teoría electromagnética, la mecánica y la teoría del calor en la termodinámica estadística, etcétera.

Esta evolución está ligada a la invención de órganos artificiales de los sentidos y a la sustitución del observador humano por el instrumento registrador. Por mucho que arranque de la experiencia cotidiana, la física no tarda en salir de ella al expandir el universo de la experiencia gracias a órganos artificiales de los sentidos. Así, p. ej., en lugar de ver nada más luz visible, de longitudes de

onda entre 380 y 760 milimicras, se abre la gama entera de la radiación electromagnética, de los rayos cósmicos más cortos a las ondas de radio, con longitudes de onda de kilómetros.

Es pues una de las funciones de la ciencia expandir lo observable. Hay que subrayar que, en contraste con el punto de vista mecanicista, no ingresamos en otro dominio metafísico con esta expansión. Más bien las cosas que nos rodean en la experiencia cotidiana, las células vistas al microscopio, las grandes moléculas observadas con el microscopio electrónico, y las partículas elementales «vistas» de modo aun más indirecto e intrincado, como rastros, en una cámara de Wilson, no tienen diferentes grados de realidad. Es una superstición mecanicista suponer que átomos y moléculas (hablando con la Alicia en el País de las Maravillas de la Física) son «más reales» que las manzanas, las piedras y las mesas. Las partículas últimas de la física no son una realidad metafísica detrás de la observación; son una expansión de lo que observamos con nuestros sentidos naturales, gracias a la introducción de órganos sensorios artificiales adecuados.

De cualquier modo, sin embargo, esto conduce a una eliminación de las limitaciones de la experiencia impuestas por la organización psicofísica específicamente humana, y en este sentido a la desantropomorfización de la imagen del mundo.

Otro aspecto de este desenvolvimiento es lo que se ha llamado convergencia de la investigación (cf. Bavink, 1949). A menudo las constantes de la física sólo han sido tenidas por medio convencional para la descripción más económica de la naturaleza. El progreso de la indagación muestra otra estampa, sin embargo. Primero, constantes naturales como el equivalente mecánico del calor o la carga del electrón varían ampliamente según los distintos observadores. Con el perfeccionamiento de las técnicas se va llegando asintóticamente a un valor «verdadero», de modo que las nuevas determinaciones no alteran el valor establecido más que en decimales cada vez menores. No sólo esto: constantes físicas, tales como el número de Loschmidt y otras, están establecidas no mediante un método sino quizá por veinte métodos, completamente independientes entre sí. De esta manera, no pueden concebirse como simples convenciones para describir fenómenos con economía; representan determinados aspectos de la realidad, independientes de sesgos biológicos, teóricos o culturales. Es, a decir verdad, una de las ocupaciones más impor-

tantes de la ciencia natural el verificar sus hallazgos por caminos independientes unos de otros.

No obstante, acaso el aspecto más impresionante de la desantropomorfización sea el tercero. Primero parten las llamadas cualidades secundarias; esto es, el color, el sonido, el olor, el sabor, desaparecen de la imagen del mundo físico, ya que las determina la energía específica de los distintos sentidos específicamente humanos. Así, en la imagen del mundo de la física clásica sólo quedan cualidades primarias, como masa, impenetrabilidad, extensión, etc., caracterizadas psicofísicamente como fundamento común de la experiencia visual, táctil, acústica. Pero entonces estas formas y categorías de la intuición también son eliminadas por demasiado humanas. Incluso el espacio euclidiano y el tiempo newtoniano de la física clásica, según fue señalado ya, no son idénticos al espacio y el tiempo de la experiencia directa; son ya construcciones de la física. Por supuesto, esto es aun más cierto en las estructuras teóricas de la física moderna.

Así va siendo eliminado lo que es específico de nuestra experiencia humana. Lo que al fin queda no es sino un sistema de relaciones matemáticas.

Hace algún tiempo se consideró una grave objeción contra la teoría de la relatividad y la teoría cuántica que se hicieran crecientemente «invisualizables», que sus construcciones no se lograran representar por modelos imaginables. La verdad es que esto prueba que el sistema de la física se desprende de las ataduras de nuestra experiencia sensorial específicamente humana, prenda de que el sistema de la física en su forma consumada —dejando sin decidir si se habrá alcanzado o aun si será alcanzable— no pertenece ya al ambiente humano (*Umwelt* en el sentido de von Uexküll) sino que compromete universalmente.

En cierto modo, la desantropomorfización progresiva recuerda al barón de Münchhausen sacándose a sí mismo del cenagal tirándose de la coleta. Es posible, con todo, en virtud de una propiedad única del simbolismo. Un sistema simbólico, un algoritmo, como el de la física matemática, se gana la vida solo —por así decirlo. Se torna una máquina pensante, y una vez introducidas las instrucciones adecuadas, la máquina funciona por sí sola, dando resultados inesperados que sobrepasan el volumen inicial de hechos y reglas que se dieron, y que es por ello impredecible para el limitado intelecto que en un principio creó la máquina. En este sentido,

el jugador mecánico de ajedrez puede ganar a quien lo hizo (Ashby, 1952a), es decir que los resultados del simbolismo automatizado trascienden la entrada original de hechos e instrucciones. Tal pasa con cualquier predicción algorítmica, sea una deducción formal de cualquier nivel de dificultad matemática, o una predicción física, como la de elementos químicos o planetas aún desconocidos (cf. von Bertalanffy, 1956a). La desantropomorfización progresiva, o sea la sustitución de la experiencia directa por un sistema algorítmico que marcha solo, es un aspecto de este estado de cosas.

O sea que el desenvolvimiento de la física depende naturalmente de la constitución psicofísica de sus creadores. Si el hombre no percibiese la luz sino las ondas de radio o los rayos X, que nos resultan invisibles a nosotros, no sólo habría sido distinto el ambiente humano sino también el desarrollo de la física. Ahora bien, al igual que por medio de aparatos adecuados y suplementando nuestra experiencia sensorial descubrimos los rayos X y toda la gama de las radiaciones electromagnéticas, otro tanto habría pasado a seres de constitución psicofísica enteramente diversa. Supóngase que hubiera seres inteligentes o «ángeles» en un planeta del sistema de Sirio que percibieran sólo rayos X. Correspondientemente, hubieran identificado aquellas longitudes de onda que son luz visible para nosotros. Mas no sólo esto: los ángeles de Sirio calcularían a lo mejor de acuerdo con sistemas muy diferentes de símbolos y teorías. Pero como el sistema de la física, en estado consumado, no contiene más nada humano, y otro tanto ocurriría con cualquier sistema de física, hay que concluir que aquellas físicas, aunque distintas en sus sistemas simbólicos, tendrían el mismo contenido, que las relaciones matemáticas de una física podrían traducirse a las de la otra, merced a un «vocabulario» y a una «gramática» apropiados.

Esta especulación no es del todo utópica, sino que en cierto grado se aprecia en el desenvolvimiento actual de la física. La termodinámica clásica y la estadística molecular, pongamos por caso, son diferentes «lenguajes» que usan diferentes abstracciones y simbolismos matemáticos, pero es fácil traducir los enunciados de una de las teorías al lenguaje de la otra. Incluso esto tiene implicaciones muy oportunas, pues la termodinámica y la moderna teoría de la información son también de toda evidencia sistemas isomorfos, y está en marcha la elaboración de un «vocabulario» completo para la traducción.

Si el sistema de la física en su estado ideal, al cual sólo es posible aproximarse asintóticamente, es absoluto en el sentido que acabamos de indicar, tampoco hay que olvidar otro aspecto, un tanto antitético. Es arbitrario, en sentido epistemológico, qué rasgos de la realidad captemos en nuestro sistema teórico; lo determinan factores biológicos, culturales y probablemente lingüísticos.

En principio también esto tiene un sentido trivial. Se dice que los esquimales disponen de unas 30 palabras para «nieve», lo cual sin duda es debido a que les resulta de vital importancia hacer distingos sutiles, en tanto que para nosotros esas diferencias son desdeñables. A la inversa, a máquinas que sólo difieren superficialmente las llamamos Ford, Cadillac, Pontiac, etc., cuando para los esquimales vendrían a ser la misma cosa. Pero otro tanto sucede en un sentido no trivial aplicado a las categorías generales del pensar.

Sería perfectamente posible que seres racionales de otra estructura eligieran rasgos y aspectos muy distintos de la realidad para alzar sistemas teóricos, sistemas de matemáticas y física. Nuestro mayor cuidado, determinado probablemente por la gramática de las lenguas indoeuropeas, son las cantidades mensurables, las unidades aislables y cosas así. Nuestra física descuida las llamadas cualidades primarias; apenas intervienen rudimentariamente en el sistema de la física o en ciertas abstracciones de la óptica fisiológica como el ciclo o triángulo cromático* Análogamente, nuestro modo de pensar es patentemente inapropiado para enfrentarse a problemas de totalidad y forma. De ahí que sólo a costa del mayor esfuerzo sean incluibles rasgos holistas, en contraste con los elementalistas —con todo y que no sean menos «reales». El modo de pensar de la física occidental nos deja en la estacada si llegamos ante problemas de forma, y este aspecto, predominante desde el punto de vista biológico, constituye un tremendo estorbo para la física.

Bien puede ser que para seres exentos de nuestros constreñimientos biológicos y lingüísticos fueran posibles formas de ciencia muy distintas, de matemáticas en el sentido de sistemas hipotético-deduc-

* Tal vez esto ayude a interpretar con mayor justicia la teoría de los colores de Goethe. Su revuelta contra la óptica newtoniana, reacción escandalosa y completamente atravesada en la historia de la física occidental, es comprensible así: Goethe, mente eidética e intuitiva, en grado sumo, tenía la impresión (muy correcta) de que la óptica newtoniana desdeña a propósito —y se abstrae de ellas— precisamente las cualidades más prominentes en la experiencia sensorial. De modo que su *Farbenlehre* —empresa teórica que abortó— es un intento de vérselas con los aspectos de la realidad que no cubre la física acostumbrada.

tivos, «físicas» matemáticas mucho más aptas que la nuestra para tratar tales aspectos de la realidad.

Parece que se da el mismo caso hasta respecto a la lógica matemática. Hasta ahora se diría que no cubre sino un segmento relativamente pequeño de lo que es expresable en lenguaje ordinario o matemático. La lógica aristotélica, que por milenios se supuso que daba las leyes generales y supremas del razonamiento, cubre de hecho apenas el campo diminuto de las relaciones entre sujeto y predicado. Los conceptos de todo o nada de la lógica tradicional se quedan cortos ante los conceptos de continuidad básicos para el análisis matemático (cf. von Neumann, 1951, p. 16). Probablemente ni siquiera los esfuerzos de los lógicos modernos están axiomatizando más que un campo muy reducido del razonamiento deductivo posible.

Tal vez la estructura de nuestra lógica esté esencialmente determinada por la estructura de nuestro sistema nervioso central. Éste es en resumidas cuentas una computadora digital, ya que las neuronas funcionan de acuerdo con la ley del todo o nada de la fisiología, en términos de decisiones de sí o no. A esto corresponde el principio heraclíteo de nuestro pensar en opuestos, nuestra lógica bivalente del sí o no, el álgebra booleana y el sistema de numeración binario*, al cual puede reducirse (lo hacen las modernas máquinas de calcular) el sistema decimal, más conveniente en la práctica. Suponiendo que se construyera un sistema nervioso no ateniéndose al tipo digital sino a modo de computadora analógica (tal como, p. ej., una regla de cálculo), es de imaginarse qué lógica de la continuidad tan diferente surgiría, contrastada con nuestra lógica del sí o no.

Desembocamos en una visión que puede denominarse perspectivismo (cf. von Bertalanffy, 1953b). En contraste con la tesis «reduccionista» de que la teoría física es la única a la que deben reducirse a fin de cuentas toda ciencia posible y todos los aspectos de la realidad, adoptamos un punto de vista más modesto: el sistema de la física es forzoso para cualquier ser racional en el sentido explicado; esto es, por un proceso de desantropomorfización se acerca a la representación de ciertos aspectos relacionales de la

* Adviértase el motivo teológico en la invención del sistema binario por Leibniz. Representaba la Creación, puesto que cualquier número puede ser generado por combinación de «algo» (1) y «nada» (0). Pero ¿tiene esta antítesis realidad metafísica, o no es sino expresión de hábitos lingüísticos y del modo de acción de nuestro sistema nervioso?

realidad. Es ante todo un algoritmo simbólico adecuado al propósito. Sin embargo, la elección de los simbolismos que apliquemos, y en consecuencia de los aspectos de la realidad que representemos, dependerá de factores biológicos y culturales. El sistema de la física no tiene nada de singular ni de particularmente sagrado. Dentro de nuestra propia ciencia son igualmente legítimos otros sistemas simbólicos, tales como los de la taxonomía, la genética o la historia del arte, aunque estén lejos de disfrutar del mismo grado de precisión. Y en otras culturas de seres humanos y entre inteligencias subhumanas pueden ser posibles clases básicamente distintas de «ciencia» que representarían otros aspectos de la realidad tan bien o aun mejor que como lo hace nuestra imagen llamada científica del mundo.

Tal vez haya una razón honda para que nuestra representación mental del universo refleje siempre sólo algunos aspectos o panoramas de la realidad. Nuestro pensamiento —en lenguaje «occidental» pero a lo mejor en cualquier lenguaje humano— procede esencialmente en términos de opuestos. Como dijo Heráclito, pensamos en términos de calor y frío, blanco y negro, día y noche, vida y muerte, ser y devenir. Son formulaciones ingenuas. Pero resulta que también las construcciones de la física son opuestos así, y que por esta misma razón demuestran ser inadecuadas ante la realidad, algunas de cuyas relaciones son expresadas en las fórmulas de la física teórica. La antítesis popular entre movimiento y quietud pierde sentido en la teoría de la relatividad. La antítesis entre masa y energía es superada en la ley einsteniana de conservación, que da razón de su transformación mutua. Corpúsculo y onda son ambos aspectos legítimos y complementarios de la realidad física que, en ciertos fenómenos y respectos, ha de ser descrita según el uno, en otros según el segundo. El contraste entre estructura y proceso se viene abajo en el átomo así como en el organismo vivo cuya estructura es al mismo tiempo expresión y portadora de un fluir continuo de materia y energía. Acaso el problema inmemorial del cuerpo y la mente sea de naturaleza similar, por ser aspectos diferentes, equivocadamente hipostasiados, de una y la misma realidad.

Desantropomorfizado y todo, nuestro conocimiento sólo refleja ciertos aspectos de la realidad. De ser cierto lo dicho, la realidad es lo que Nicolás de Cusa (cf. von Bertalanffy, 1928b) llamaba

coincidentia oppositorum. El pensamiento discursivo siempre representa sólo un aspecto de la realidad última, llamado Dios en la terminología de Nicolás de Cusa; jamás llega a agotar su infinita multiplicidad. Así, la realidad última es una unidad de opuestos; cualquier enunciado es válido sólo desde cierto punto de vista, su validez es relativa y debe ser suplementada por enunciados antitéticos desde puntos opuestos.

O sea que las categorías de nuestra experiencia y pensamiento parecen estar determinadas por factores biológicos así como culturales. En segundo lugar, esta vinculación humana es vencida merced a un proceso de desantropomorfización progresiva de nuestra imagen del mundo. En tercer lugar, aun desantropomorfizado, el conocimiento sólo refleja ciertos aspectos o facetas de la realidad. Pero, en cuarto lugar, *ex omnibus partibus relucet totum,* por volver a expresarlo según de Cusa: cada aspecto tiene verdad, aunque relativa. Diríase que esto indica la limitación así como la dignidad del conocimiento humano.

Apéndice I: Notas sobre los adelantos en la teoría matemática de los sistemas (1971)

En años recientes, el programa de la teoría matemática de los sistemas se ha tornado una realidad; esta teoría es hoy por hoy un campo extenso y en rápido crecimiento. El adelanto es debido, por un lado, a los problemas teóricos que plantea el «sistema» como tal y en relación con otras disciplinas; por otro, a problemas de la tecnología del control y la comunicación.

Es imposible presentar aquí un tratamiento sistemático o un repaso completo de estos trabajos matemáticos, pero las observaciones que siguen acaso proporcionen cierta comprensión intuitiva de los distintos enfoques y de su interdependencia. Remitimos al lector a la bibliografía de lecturas recomendadas (p. 291), si quiere emprender mayor estudio.

Se conviene de ordinario en que «sistema» es un *modelo* de naturaleza general, esto es, un análogo conceptual de algunos rasgos muy universales de entidades observadas. El uso de modelos o construcciones analógicas es práctica general en la ciencia (y aun en la cognición cotidiana), y es asimismo fundamento de la simulación analógica con computadora. La diferencia con respecto a las disciplinas tradicionales no es esencial sino que reside más bien en el grado de generalidad (o abstracción): «sistema» alude a características muy generales compartidas por gran número de entidades que acostumbraban ser tratadas por diferentes disciplinas. De aquí la naturaleza interdisciplinaria de la teoría general de los sistemas; al mismo tiempo, sus enunciados atañen a comunalidades formales o estructurales, dejando a un lado la «naturaleza de los elementos

o fuerzas del sistema», de que se ocupan las ciencias especiales (y sus explicaciones). En otras palabras, los argumentos de teoría de los sistemas conciernen a tales estructuras generales y tienen valor predictivo con respecto a ellas. Tal «explicación en principio» (pp. 36, 47, etc.), puede tener considerable valor predictivo; para la explicación específica, claro está, es preciso insertar las condiciones especiales del sistema (cf. pp. 110).

Según se discutió previamente, el «sistema» es un nuevo «paradigma» en la ciencia, en comparación con el enfoque elementalista y sus concepciones, predominantes en el pensamiento científico. No es sorprendente, así, que la teoría matemática de los sistemas haya sido desarrollada de múltiples modos que difieren en hincapié, enfoque del interés, técnicas matemáticas, etc. Más aun, estos trabajos dilucidan diferentes aspectos, propiedades, principios de lo que comprende el término «sistema», y sirven a diversos propósitos de índole teórica o práctica. El hecho de que las «teorías de los sistemas» debidas a diversos autores tengan aire muy distinto no es pues motivo de embarazo, ni resulta de ninguna confusión: es el desarrollo saludable de un campo nuevo y creciente, y apunta a aspectos del problema seguramente necesarios y complementarios. La existencia de diferentes descripciones no tiene nada de particular, sino que se da a menudo en las matemáticas y la ciencia, desde la descripción geométrica o analítica de una curva hasta la equivalencia de la termodinámica clásica y la mecánica estadística o de la mecánica ondulatoria y la física de partículas. No obstante, las actitudes distintas y parcialmente opuestas deben tender a mayor integración, en el sentido de ser la una caso especial de la otra, o de conseguir demostrarse que son equivalentes o complementarias. En la teoría de los sistemas estamos presenciando precisamente esto.

Un sistema puede ser definido como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí y con el medio circundante. Esto es expresable matemáticamente de varios modos. Indicaremos algunos caminos típicos de descripción de sistemas.

Con la designación algo elástica de *axiomático* cubriremos un enfoque o grupo de investigaciones que concentran el interés en una definición rigurosa del sistema y en la derivación, por métodos modernos de matemáticas y lógica, de sus implicaciones. Son ejemplos, entre otros, las descripciones de sistemas por Mesarovic (1961, etc.), Maccia (1966), Beier y Laue (1971: teoría de los conjuntos),

Ashby (1958; «sistema o máquina determinado por el estado»), Klir (1969; UC: conjunto de todos los acoplamientos entre los elementos y entre elementos y medio circundante; ST: conjunto de todos los estados y todas las transiciones entre estados), etc.

La *teoría dinámica de los sistemas* se ocupa de los cambios en los sistemas con el tiempo. Hay dos modos principales de descripción, a saber: la descripción interna y la descripción externa (cf. Rosen, 1971).

La *descripción interna* o teoría «clásica» de los sistemas (Rosen, 1970) define un sistema merced a un conjunto de *n* medidas, llamadas variables de estado. Analíticamente, su cambio en el tiempo se expresa, de modo típico, por un conjunto de *n* ecuaciones diferenciales simultáneas de primer orden (ec. 3.1, p. 56), denominadas ecuaciones dinámicas o ecuaciones de movimiento del sistema. El comportamiento del sistema es descrito por la teoría de las ecuaciones diferenciales (ordinarias y de primer orden, si se acepta la definición del sistema por la ecuación 3.1), que es un campo bien conocido y muy elaborado de las matemáticas. Sin embargo, tal como se mencionó anteriormente la consideración de sistemas plantea problemas bien definidos. Así, por ejemplo, la teoría de la estabilidad no se ha desarrollado hasta hace poco, vinculada a problemas de control (y sistemas): las funciones de Liapunov (muerto en 1918) datan de 1892 (en ruso; en francés de 1907), pero su importancia se ha apreciado en fecha reciente, sobre todo gracias a la labor de los matemáticos soviéticos.

Geométricamente, el cambio del sistema es expresado por las trayectorias descritas por las variables de estado en el espacio de estados, o sea el espacio de *n* dimensiones de las posibles localizaciones de dichas variables. Pueden distinguirse y definirse como sigue tres tipos de comportamiento:

(1) Una trayectoria es llamada *asintóticamente estable* si todas las trayectorias suficientemente próximas a ella a $t = t_0$ convergen asintóticamente cuando $t \to \infty$.

(2) Una trayectoria es llamada *neutralmente estable* si todas las trayectorias suficientemente próximas a ella a $t = 0$ siguen estando cerca de ella durante todo el tiempo siguiente, pero sin acercársele por fuerza asintóticamente.

(3) Una trayectoria es llamada *inestable* si las trayectorias cercanas a ella a $t = 0$ no siguen cerca de ella cuando $t \to \infty$.

Esto corresponde a soluciones que se acercan a un estado independiente del tiempo (equilibrio, estado uniforme), a soluciones periódicas y a soluciones divergentes, respectivamente.

Un estado independiente del tiempo:

$$f_1(Q_1, Q_2 \dots Q_n) = 0$$

puede considerarse como una trayectoria degenerada a un solo punto. Luego, fáciles de ver en proyección bidimensional, las trayectorias pueden converger hacia un nodo estable representado por el punto de equilibrio, pueden aproximársele como a foco estable en las oscilaciones amortiguadas, o circular en torno suyo en las oscilaciones no amortiguadas (soluciones estables); o, si no, divergir de un nodo inestable, apartarse de un foco inestable en oscilaciones, o de un valle (soluciones inestables).

Una noción central de la teoría dinámica es la de *estabilidad*, es decir, la respuesta de un sistema a la perturbación. El concepto de estabilidad procede de la mecánica (un cuerpo rígido se halla en equilibrio estable si retorna a la posición original después de un desplazamiento suficientemente pequeño; un movimiento es estable si es insensible a perturbaciones leves) y es generalizado a los «movimientos» de las variables de estado de un sistema. Esta cuestión se vincula a la de la existencia de estados de equilibrio. De suerte que la estabilidad es analizable por solución explícita de las ecuaciones diferenciales 3.1 que describen el sistema (lo que se llama método indirecto, basado esencialmente en la discude los valores propios λ_i del sistema de ecuaciones). En el caso de los sistemas no lineales, hay que linealizarlos por desarrollo en serie de Taylor, reteniendo el primer término. Con todo, la linealización atañe sólo a la estabilidad en la vecindad del equilibrio. Pero se logran argumentos sobre la estabilidad sin genuina solución de las ecuaciones diferenciales (método directo) recurriendo a las llamadas *funciones de Liapunov*, funciones energéticas generalizadas cuyo signo indica si un equilibrio es asintóticamente estable o no (cf. La Salle y Lefschetz, 1961; Hahn, 1963).

Aquí son evidentes las relaciones entre la teoría dinámica de los sistemas y la teoría del control: el control significa, a fin de cuentas, la transformación de un sistema no asintóticamente estable en uno que sí lo sea, incorporando un movimiento contrarrestante que controla al sistema apartado del estado estable. Por esta razón

la teoría de la estabilidad en la descripción interna o la teoría dinámica de los sistemas converge con la teoría de los sistemas (lineales) de control o retroalimentación en descripción externa (cf. Schwarz, 1969).

La descripción mediante ecuaciones diferenciales ordinarias (ec. 3.1) prescinde de variaciones de las variables de estado en el espacio, que serían expresadas por ecuaciones diferenciales parciales. Sin embargo, éstas (ecuaciones de campo) son más difíciles de manejar. Para vencer esta dificultad puede suponerse «agitación» completa, de modo que la distribución sea homogénea en el volumen considerado, o imaginarse compartimientos en los que valga la distribución homogénea y que estén conectados por interacciones apropiadas (teoría de los compartimientos).

En la *descripción externa* el sistema es considerado como una «caja negra»; en diagramas de bloques y de flujo se representan sus relaciones con el medio y con otros sistemas. La descripción de sistemas es en términos de entradas y salidas (lo que en alemán se llama *Klemmenverhalten*): su forma general son funciones de trasferencia que vinculan entrada y salida. Lo típico es que se consideren lineales y representadas por conjuntos discretos de valores (cf. las decisiones de sí o no en la teoría de la información, la máquina de Turing). Éste es el lenguaje de la tecnología del control; es característico de la descripción externa el uso de términos de comunicación (intercambio de información entre sistema y medio y dentro del sistema) y de control de la función del sistema con respecto al medio (retroalimentación), por usar la definición de la cibernética de Wiener.

Según se mencionó, las descripciones interna y externa coinciden en gran medida con descripciones mediante funciones continuas o discretas. Se trata de dos «lenguajes» adaptados a sus respectivos propósitos. Según se subrayó en el texto, empíricamente hay un evidente contraste entre regulaciones debidas al libre juego de fuerzas dentro de un sistema dinámico, y regulaciones resultantes de constreñimientos impuestos por mecanismos estructurales de retroalimentación. Formalmente, sin embargo, los dos «lenguajes» son afines y en ocasiones —puede demostrarse— traducibles. Por ej., una función de entrada-salida, en ciertas condiciones, puede desarrollarse como ecuación diferencial lineal de *n*-ésimo orden, y los términos de la última ser considerados formalmente como «variables de estado»;

si bien su significado físico se mantiene indefinido, es así posible la «traducción» formal de un lenguaje al otro.

En ciertos casos —p. ej. la teoría bifactorial de la excitación nerviosa (en términos de «factores excitadores e inhibidores» o de las correspondientes sustancias) o la teoría de las redes (las redes de «neuronas» de McCulloch)— la descripción en teoría dinámica de los sistemas merced a funciones continuas y la descripción en teoría de los autómatas mediante análogos digitales son demostrablemente equivalentes (Rosen, 1967). Parecidamente, los sistemas predador-presa, de ordinario descritos por las ecuaciones de Volterra, también son expresables en términos de circuitos cibernéticos de retroalimentación (Wilbert, 1970). Se trata de sistemas de dos variables. Está por verse (en opinión del autor) si será posible una «traducción» parecida en los sistemas de variables múltiples.

La descripción interna es esencialmente «estructural»: procura describir el comportamiento del sistema en términos de variables de estado y de su interdependencia. La descripción externa es «funcional», describe el comportamiento del sistema por su interacción con el medio.

Así, como muestra este rápido esbozo, mucho se ha adelantado en la teoría matemática de los sistemas desde que el programa fue enunciado y abordado hace unos veinticinco años, conduciendo a múltiples enfoques que, sin embargo, están vinculados entre sí.

La teoría matemática de los sistemas es un campo en rápido crecimiento, pero es natural que problemas básicos, como, digamos, los del orden jerárquico (cf. p. 25; Whyte, Wilson y Wilson, 1969), vayan siendo estudiados despacio y que seguramente necesiten ideas y teorías novedosas. Tal como señalamos (p. 20), la teoría general de los sistemas es, a fin de cuentas, una «ciencia lógico-matemática de la totalidad», y su desarrollo riguroso es «técnico», matemático, aunque no sean desdeñables las descripciones y los modelos «verbales» (p. ej. Willer, 1969; Koestler, 1971; Weiss, 1970; Buckley, 1968; Gray, Duhl y Rizzo, 1968; Demerath y Peterson, 1967, etc. cf. p. 23). Hay que «ver» intuitivamente, que reconocer los problemas, antes de que se consiga formalizarlos matemáticamente. De otra manera el formalismo matemático quizá llegue a impedir la exploración de problemas muy «reales».

Apéndice II: Significado y unidad de la ciencia

En tiempos de crisis universales como los que hoy vivimos, surge la cuestión del sentido y el propósito de las ciencias naturales. Con frecuencia se oye echar la culpa a la ciencia de las desventuras de nuestra época, se supone que el hombre ha sido esclavizado por las máquinas, por la tecnología en grande, y lanzado a las carnicerías de las guerras mundiales. No estamos en condiciones de influir en medida apreciable sobre el curso de la historia, y no nos queda más que reconocerlo o que nos atropelle.

Un sabio renombrado, el profesor doctor Ludwig von Bertalanffy, habló ante un abundante auditorio en el Departamento de Medicina Forense, como parte de la serie de conferencias patrocinada por la FÖST (Freie Österreichische Studentenschaft). Habló de temas vitales de hoy, a propósito de la posición especial del hombre en la naturaleza.

En contraste con el animal, que tiene un «ambiente» *(Umwelt)* determinado por su organización, el propio hombre crea su mundo, lo que llamamos cultura humana. Entre los requisitos para su evolución están dos factores estrechamente ligados, el lenguaje y la formación de conceptos. Ya en el mundo animal se observa «lenguaje», llamadas u órdenes; son ejemplos el canto de las aves, el silbido de aviso de la cabra montés, etc. Pero el lenguaje como representación y comunicación de hechos es monopolio del hombre. El lenguaje, en el sentido más lato del término, no sólo comprende la palabra hablada, sino también la escritura

* Reseña de una conferencia dada en la Universidad de Viena en 1947.

y el sistema simbólico de las matemáticas. Son sistemas de *símbolos* no heredados sino libremente creados y tradicionales. Ante todo, esto explica la *especificidad de la historia humana* en contraste con la evolución biológica: la tradición, a diferencia de las mutaciones hereditarias, que sólo se dan en un largo periodo de tiempo. En segundo lugar, el ensayo y error físico, tan característico del comportamiento animal, es reemplazado por la *experimentación mental*, con símbolos conceptuales. Por esta razón se hace posible la *persecución de metas*. La persecución de metas y la teleología en un sentido metafísico —la regulación de aconteceres en el sentido del mantenimiento, la producción y la reproducción de la totalidad orgánica— constituyen un criterio general de la vida. Sin embargo, la verdadera intencionalidad implica que las acciones son realizadas con conocimiento de su meta, de su resultado final venidero; la concepción de la meta futura existe ya e influye sobre las acciones presentes. Esto se aplica a las acciones primitivas de la vida cotidiana así como a los logros supremos del intelecto humano en la ciencia y la tecnología. Además, el mundo simbólico creado por el hombre adquiere vida propia, por así decirlo; se torna más inteligente que su creador. El sistema simbólico de las matemáticas, p. ej., está encarnado en una enorme máquina de pensar que, cuando se le administra un enunciado, produce una solución sobre la base de un proceso fijo de concatenación de símbolos que hubiera sido difícil de prever. Por otro lado, sin embargo, este mundo simbólico se convierte en una potencia que puede acarrear graves trastornos. Si hay conflicto entre el mundo simbólico —emergente en la sociedad humana como valores morales y convenciones sociales— y pulsiones biológicas, fuera de lugar en el ambiente cultural, la situación en que se encuentra el individuo lo hace propender a la psiconeurosis. Como potencia social, el mundo simbólico, que hace humano al hombre, produce al mismo tiempo el curso sanguinario de la historia. En contraste con la ingenua lucha por la existencia de los organismos, la historia humana está dominada en gran medida por la lucha entre ideologías, es decir de simbolismos, tanto más peligrosos cuanto más disfrazan los instintos primitivos. No es posible revocar el curso de los hechos que produjo lo que llamamos «hombre»; lo que sí nos atañe es aplicar la previsión a su adelanto o su propia exterminación. En este sentido, la cuestión de qué rumbo tomará la concepción científica del mundo es, a la vez, la cuestión del destino de la humanidad.

Al repasar adelantos científicos queda de manifiesto un extraño fenómeno. Independientemente unos de otros, *principios generales parecidos* empiezan a tomar forma en los varios campos de la ciencia. Entre ellos, el conferenciante hizo especial hincapié en los aspectos de organización, totalidad y dinámica, y esbozó su influencia en las distintas ciencias. En física estas concepciones son características de la moderna, en contraste con la clásica. En biología, las subraya la *concepción organísmica*, representada por el conferenciante. Hay visiones análogas en medicina, psicología (*Gestalt*, teoría de la estratificación) y la moderna filosofía.

Esto abre un panorama inmenso, la perspectiva de una unidad de visión del mundo desconocida hasta la fecha. ¿Cómo se dará esta unidad de principios generales? El doctor von Bertalanffy responde pidiendo un *nuevo campo en la ciencia*, que llama «teoría general de los sistemas» y que intenta fundar. Es un campo lógico-matemático cuya tarea es formular y derivar aquellos principios fundamentales que sean aplicables a «sistemas» en general. De esta manera se vuelven posibles formulaciones exactas de términos tales como totalidad y suma, diferenciación, mecanización progresiva, centralización, orden jerárquico, finalidad y equifinalidad, etc. Son términos que se presentan en todas las ciencias que se ocupan de «sistemas» e implican su homología lógica.

La visión del mundo mecanicista del siglo pasando estaba estrechamente vinculada al dominio de la máquina, a la visión teórica de los seres vivos como máquinas y a la mecanización del hombre mismo. Sin embargo, los conceptos acuñados por los adelantos científicos modernos tienen la ejemplificación más patente en la vida misma. Hay, pues, esperanzas de que el nuevo concepto científico del mundo sea expresión del progreso hacia una nueva etapa de la cultura humana.

Bibliografía

ACKOFF, R. L.: «Games, Decisions and Organization», *General Systems*, 4 (1959), 145-150.

— , «Systems, Organizations, and Interdisciplinary Research», *General Systems*, 5 (1960), 1-8.

ADAMS, H.: *The Degradation of the Democratic Dogma*, Nueva York, Macmillan, 1920.

ADOLPH, E. F.: «Quantitative Relations in the Physiological Constitution of Mammals», *Science*, 109 (1949), 579-585.

AFANASJEW, W. G.: «Über Bertalanffy's 'organismische' Konzeption», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 10 (1962), 1033-1046.

ALEXANDER, F.: *The Western Mind in Transition: An Eyewitness Story*, Nueva York, Random House, 1960.

ALLESCH, G. J. von: *Zur nichteuklidischen Struktur des phaenomenalen Raumes*, Jena, Fischer, 1931.

ALLPORT, F.: *Theories of Perception, and the Concept of Structure*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1955.

ALLPORT, G. W.: *Becoming: Basic Considerations for a Psychology of Personality*, New Haven, Yale University Press, 1955.

— , «European and American Theories of Personality», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres. Tavistock, 1957.

— , «The Open System in Personality Theory», *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 61 (1960), 301-310; reproducido en *Personality and Social Encounter*, Boston, Beacon Press, 1960.

— , *Pattern and Growth in Personality*, Nueva York, Holt, Rinehart & Winston, 1961.

ANDERSON, H.: «Personality Growth: Conceptual Considerations», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.

ANÓNIMO: «Crime and Criminology», *The Sciences*, 2 (1963), 1-4.

ANSCHÜTZ, G.: *Psychologie*, Hamburgo, Meiner, 1953.

APPLEBY, L., SCHER, J. y CUMMINGS, J., reds.: *Chronic Schizophrenia*, Glencoe (Ill.), The Free Press, 1960.

ARIETI, S.: *Interpretation of Schizophrenia*, Nueva York, Robert Brunner, 1955.

— , «Schizophrenia», *American Handbook of Psychiatry*, S. Arieti, ed., vol. 1, Nueva York, Basic Books, 1959.

— , «The Microgeny of Thought and Perception», *Archives of General Psychiatry*, 6 (1962). 454-468.

— , «Contributions to Cognition from Psychoanalytic Theory», *Science and Psychoanalysis*, G. Masserman, ed., vol. 8, Nueva York, Grune & Strutton, 1965.

ARROW, K. J.: «Mathematical Models in the Social Sciences», *General Systems*, 1 (1956), 29-47.

ASHBY, W. R., «Can a Mechanical Chess-Player Outplay its Designer», *British Journal of Philosophy of Science*, 3 (1952a), 44.

— , *Design for a Brain*, Londres, Chapman & Hall, 1952b.

— , «General Systems Theory as a New Discipline», *General Systems*, 3 (1958a), 1-6.

— , *An Introduction to Cybernetics*, 3.ª ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1968b.

— , «Principles of the Self-Organizing System», *Principles of Self-Organization*, H. von Foerster y G. W. Zopf, Jr., eds., Nueva York, Pergamon Press, 1962.

— , «Constraint Analysis of Many-Dimensional Relations», *Technical Report* #2, mayo 1964, Urbana, Electrical Engineering Research Laboratory, University of Illinois.

ATTNEAVE, F.: *Application of Information Theory to Psychology*, Nueva York, Holt, Rinehart & Winston, 1959.

BACKMAN, G.: «Lebensdauer und Entwicklung», *Roux' Archiv*, 140 (1940), 90.

BAVINK, B.: *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, 8.ª ed., Leipzig, Hirzel, 1944; 9.ª ed., Zurich, Hirzel, 1949.

BAYLISS, L. E.: *Living Control Systems*, San Francisco, Freeman, 1966.

BEADLE, G. W.: *Genetics and Modern Biology*, Filadelfia, American Philosophical Society, 1963.

BECKNER, M.: *The Biological Way of Thought*, Nueva York, Columbia University Press, 1959.

BEER, S.: «Below the Twilight Arch - A Mythology of Systems», *General Systems*, 5 (1960), 9-20.

BEIER, W.: *Biophysik*, 2.ª ed., Leipzig, Thieme, 1962.

— , *Einführung in die theoretische Biophysik*, Stuttgart, Gustav Fischer, 1965.

BELL, E.: «Oogenesis», C. P. Raven, reseña, *Science*, 135 (1962), 1056.

BENDMANN, A.: «Die 'organismische' Auffassung Bertalanffys», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 11 (1963), 216-222.

— , *L. von Bertalanffys organismische Auffassung des Lebens in ihren philosophischen Konsequenzen*, Jena, G. Fischer, 1967.

BENEDICT, R.: *Patterns of Culture*, Nueva York, Mentor Books, 1946 (1934).

BENTLEY, A. F.: «Kenetic Inquiry», *Science*, 112 (1950), 775.

BERG, K., y OCKELMANN, K. W.: «The Respiration of Freshwater Snails», *Journal for Experimental Biology*, 36 (1959), 690-708.

— , «On the Oxygen Consumption of Some Freshwater Snails», *Verhandlungen Intern. Verein Limnologie*, 14 (1961), 1019-1022.

BERLIN, S. I.: *Historical Inevitability*, Londres-Nueva York, Oxford University Press, 1955. Hay trad. española.

BERLYNE, D. E.: «Recent Developments in Piaget's Work», *British Journal of Educational Psychology*, 27 (1957), 1-12.

— , *Conflict, Arousal and Curiosity*, Nueva York, McGraw Hill, 1960.

BERNAL, J. D.: *Science in History*, Londres, Watts, 1957.

BERTALANFFY, F. D., y LAU, C.: «Cell Renewal», *International Review of Cytology*, 13 (1962), 357-366.

BERTALANFFY, L. von: «Einführung in Spenglers Werk», *Literaturblatt Kölnische Zeitung*, mayo de 1924.

— , *Kritische Theorie der Formbildung*, Berlín, Borntraeger, 1928a; en inglés: *Modern Theories of Development*, Nueva York, Harper Torchbooks, 1962 (1934).

— , *Nikolaus von Kues*, Munich, G. Müller, 1928b.

— , *Theoretische Biologie*, 2 vol., Berlín, Borntraeger, 1932, 1942; 2.ª ed., Berna, A. Francke AG, 1951.

— , «Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums», *Roux' Archiv*, 131 (1934), 613-652.

— , *Das Gefüge des Lebens*, Leipzig, Teubner, 1937.

— , «A Quantitative Theory of Organic Growth», *Human Biology*, 10 (1938), 181-213.

— , «Der Organismus als physikalisches System betrachtet», *Die Naturwissenschaften*, 28 (1940a), 521-531. Cap. V de este libro.

— , «Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. III. Quantitative Beziehungen zwischen Darmoberflache und Körpergrösse bei *Planaria maculata*», *Roux' Archiv*, 140 (1940b), 81-89.

— , «Probleme einer dynamischen Morphologie», *Biologia Generalis*, 15 (1941), 1-22.

— , «Das Weltbild der Biologie», «Arbeitskreis Biologie», *Weltbild und Menschenbild*, S. Moser, ed. (Alpbacher Hochschulwochen 1947), Salzburgo, Tyrolia Verlag, 1948a.

— , «Das organische Wachstum und seine Gesetzmässigkeiten», *Experientia*, Basel, 4 (1948b).

— , *Das biologische Weltbild*, Berna, A. Francke AG, 1949a; en inglés:

Problems of Life, Nueva York, Wiley, 1952; Nueva York, Harper Torchbooks, 1960. También hay ediciones francesa, española, holandesa y japonesa.
— , «Problems of Organic Growth», *Nature*, 163 (1949b), 156.
— , «Zu einer allgemeinen Systemlehre», *Blätter für deutsche Philosophie*, 3/4 (1945); extracto en *Biologia Generalis*, 19 (1949), 114-129.
— , «The Theory of Open Systems in Physics and Biology», *Science*, 111 (1950a), 23-29.
— , «An Outline of General System Theory», *British Journal of Philosophy of Science*, 1 (1950b), 139-164.
— , «Theoretical Models in Biology and Psychology». *Theoretical Models and Personality Theory*, D. Krech y G. S. Klein, eds., Durham, Duke University Press, 1952.
— , *Biophysik des Fliessgleichgewichts*, trad. de W. H. Westphal, Braunschweig, Vieweg, 1953a; ed. revisada con W. Beier, en preparación.
— , «Philosophy of Science in Scientific Education», *Scientific Monthly*, 77 (1953b), 233.
— , «General System Theory», *Main Currents in Modern Thought*, 11 (1955a), 75-83, Cap. II de este libro.
— , «An Essay on the Relativity of Categories», *Philosophy of Science*, 22 (1955b), 243-263. Cap. X de este libro.
— , «A Biologist Looks at Human Nature», *Scientific Monthly*, 82 (1956a), 33-41; reproducido en *Contemporary Readings in Psychology*, R. S. Daniel, red., 2.ª ed., Boston, Houghton Mifflin Company, 1965; también en *Reflexes to Intelligence, A Reader in Clinical Psychology*, S. J. Beck y H. B. Molish, eds., Glencoe (Ill.), The Free Press, 1959.
— , «Some Considerations on Growth in its Physical and Mental Aspects», *Merrill-Palmer Quarterly*, 3 (1956b), 13-23.
— , *The Significance of Psychotropic Drugs for a Theory of Psychosis*, World Health Organization, AHP, 2, 1957a; mimeografiado.
— , «Wachstum», *Kükenthals Handbuch der Zoologie*, vol. 8, 4(6), Berlín, De Gruyter, 1957b.
— , «Comments on Aggression», *Bulletin of the Menninger Clinic*, 22 (1958), 50-57.
— , «Human Values in a Changing World», *New Knowledge in Human Values*, A. H. Maslow, ed., Nueva York, Harper & Brothers, 1959.
— , «Some Biological Considerations on the Problem of Mental Illness», *Chronic Schizophrenia*, L. Appleby, J. Scher y J. Cummings, eds., Glencoe (Ill.), The Free Press, 1960a; reimpreso en *Bulletin of the Menninger Clinic*, 23 (1959), 41-51.
— , «Principles and Theory of Growth», *Fundamental Aspects of Normal and Malignant Growth*, W. W. Nowinski, ed., Amsterdam, Elsevier, 1960b.
— , «General System Theory - A Critical Review», *General Systems*, 7 (1962), 1-20. Cap. IV de este libro.

— , «The Mind-Body Problem: A New View», *Psychosomatic Medicine*, 24 (1964a), 29-45.

— , «Basic Concepts in Quantitative Biology of Metabolism», Quantitative Biology of Metabolism, First International Symposium, A. Locker, ed., *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9 (1964b), 5-37.

— , «The World of Science and the World of Value», *Teachers College Record*, 65 (1964c), 496-507.

— , «On the Definition of the Symbol», *Psychology and the Symbol: An Interdisciplinaty Symposium*, J. R. Royce, ed., Nueva York, Random House, 1965.

— «General System Theory and Psychiatry», *American Handbook of Psychiatry*, vol. 3, S. Arieti, ed., New York, Basic Books, 1966. Cap. IX de este libro.

— , *Robots, Men and Minds*, Nueva York, George Braziller, 1967.

— , y R. R. Estwick, «Tissue Respiration of Musculature in Relation to Body Size», *American Journal c Physiology*, 172 (1953), 58-60.

— , C. G. Hempel, R. E. Bass y H. Jonas, «General System Theory: A New Approach to Unity of Science. I-VI», *Human Biology*, 23 (1951), 302-361.

— , y I. Müller, «Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. VIII. Die Abhängigkeit des Stoffwechsels von der Köpergrösse und der Zusammenhang von Stoffwechseltypen und Wachstumstypen», *Rivista Biol.*, 35 (1943), 48-95.

— , y W. J. P. Pirozynski, «Ontogenetic and Evolutionary Allometry», *Evolution*, 6 (1952), 387-392.

— , «Tissue Respiration, Growth and Basal Metabolism», *Biological Bulletin*, 105 (1953), 240-256.

BETHE, A.: «Plastizität und Zentrenlehre», *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, vol. XV/2, Albert Bethe, ed., Berlin, Springer, 1931.

BEVERTON, R. J. H. y HOLT, S. J.: «On the Dynamics of Exploited Fish Populations», *Fishery Investigation*, ser. II, vol. XIX, Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1957.

BLANDINO, G.: *Problemi e dottrine di biologia teorica*, Bolonia, Minerva Medica, 1960.

BLASIUS, W.: «Erkenntnistheoretische und methodologische Grundlagen der Physiologie», Landois-Rosemann, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*, 28.ª ed., Munich-Berlín, Urban & Schwarzenberg, 1962, 990-1011.

BLEULER, E.: *Mechanismus-Vitalismus-Mnemismus*, Berlin, Srpinger, 1931.

BODE, H., MOSTELLER, F., TUKEY, F. y WINSOR, C.: «The Education of a Scientific Generalist», *Science*, 109 (1949), 553.

BOFFEY, P. M.: «Systems Analysis: No Panacea for Nation's Domestic Problems», *Science*, 158 (1967), 1028-1030.

BOGUSLAW, W.: *The New Utopians*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1965.

BOULDING, K. E.: *The Organizational Revolution*, Nueva York, Harper & Row, 1953.

—, «Toward a General Theory of Growth», *General Systems*, 1 (1956a), 66-75.

—, *The Image*, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1956b.

—, *Conflict and Defence*, Nueva York, Harper, 1962.

BRADLEY, D. F. y CALVIN, M.: «Behavior: Imbalance in a Network of Chemical Transformation», *General Systems*, 1 (1956), 56-65.

BRAY, H. G. y WHITE, K.: *Kinetics and Thermodynamics in Biochemistry*, Nueva York, Academic Press, 1957.

BRAY, J. R.: «Notes Toward an Ecology Theory», *Ecology*, 9 (1958), 770-776.

BRODY, S.: «Relativity of Physiological Time and Physiological Weight», *Growth*, 1 (1960), 1937.

—, *Bioenergetics and Growth*, Nueva York, Reinhold, 1945.

BRONOWSKI, J.: Reseña de *Brains, Machines and Mathematics*, por M. A. Arbib, *Scientific American*, julio de 1964, 130-134.

BRUNER, J.: «Neural Mechanisms in Perception». *The Brain and Human Behavior*, H. Solomon, ed., Baltimore, Williams and Wilkins, 1958.

BRUNNER, R.: «Das Fliessgleichgewicht als Lebensprinzip», *Mitteilungen der Versuchsstation für das Gärungsgewerbe* (Wien), 3-4 (1967), 31-35.

BRUNSWIK, E.: «Historical and Thematic Relations of Psychology to Other Sciences», *Scientific Monthly*, 83 (1956), 151-161.

BUCKLEY, W.: *Sociology and Modern Systems Theory*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1967.

BUHLER, C.: «Theoretical Observations About Life's Basic Tendencies», *American Journal of Psychotherapeutics*, 13 (1959), 461-581.

—, *Psychologie im Leben unserer Zeit*, Munich-Zurich, Knaur, 1962.

BURTON, A. C.: «The Properties of the Steady State Compared to those of Equilibrium as Shown in Characteristic Biological Behavior», *Journal of Cellular and Comparitive Physiology*, 14 (1939), 327-349.

BUTENANDT, A.: «Neuartige Probleme und Ergebnisse der biologischen Chemie», *Die Naturwissenschaften*, 42 (1955), 141-149.

—, «Altern und Tod als biochemisches Problem», *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 84 (1959), 297-300.

CANNON, W. B.: «Organization for Physiological Homeostasis», *Physiological Review*, 9 (1929), 397.

—, *The Wisdom of the Body*, Nueva York, W. W. Norton Co., 1932. Cantril, Hadley, «A Transaction Inquiry Concerning Mind», *Theories of the Mind*, Jordan Scher, ed., Nueva York, The Free Press, 1962.

CARMICHAEL, L., ed., *Manual of Child Psychology*, 2.ª ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1954.

CARNAP, R.: *The Unity of Science*, Londres, 1934.

CARTER, L. J.: «Systems Approach: Political Interest Rises», *Science*, 153 (1966), 1222-1224.

CASEY, E. J.: *Biophysics*, Nueva York, Reinhold, 1962.

CASSIRER, E.: *The Philosophy of Symbolic Forms*, 3 vols., New Haven, Yale University Press, 1953-1957. Hay trad. española, F.C.E.

CHANCE, B., ESTABROOK, R. W. y WILLIAMSON, J. R., eds.: *Control of Energy Metabolism*, Nueva York-Londres, Academic Press, 1965.

CHOMSKY, N.: «'Verbal Behavior' by J. Skinner», *Language*, 35 (1959), 26-58.

CHORLEY, R. J.: «Geomorphology and General Systems Theory», *General Systems*, 9 (1964), 45-56.

COMMONER, B.: «In Defense of Biology», *Science*, 133 (1961), 1745-1748.

COWDRY, E.: *Cancer Cells*; 2.ª ed., Filadelfia, W. B. Saunders, 1955. (Damude, E.), «A Revolution in Psychiatry», *The Medical Post*, 23 de mayo, 1967.

D'ANCONA, V.: *Der Kampf ums Dasein*, Berlín, Bornträger, 1939; trad. inglesa, *The Struggle for Existence*, Leiden, E. J. Brill, 1954.

DENBIGH, K. G.: «Entropy Creation in Open Reaction Systems», *Transactions of the Faraday Society*, 48 (1952), 389-394.

DE-SHALIT, A.: «Remarks on Nuclear Structure», *Science*, 153 (1966), 1063-1067.

DOBZHANSKY, T.: «Are Naturalists Old-Fashioned», *American Naturalist*, 100 (1966), 541-550.

DONNAN, F. G.: «Integral Analysis and the Phenomenon of Life», *Acta Biotheoretica*, 1937.

DOST, F. H.: *Der Blutspiegel: Kinetik der Konzentrationsabläufe in der Körperflüssigkeit*, Leipzig, Thieme, 1953.

— , «Über ein einfaches statistisches Dosis-Umsatz-Gesetz», *Klinische Wochenschrift*, 36 (1958), 655-657.

— , «Beitrag zur Lehre vom Fliessgleiohgewicht (steady state) aus der Sicht der experimentellen Medizin», *Nova Acta Leopoldina*, 4-5 (1958-59), 143-152.

— , «Fliessgleichgewichte im strömenden Blut», *Deutsche medizinische Wochenschrift*, 87 (1962a), 1833-1840.

— «Ein Verfahren zur Ermittlung des absoluten Transportvermögens des Blutes im Fliessgleichgewicht», *Klinische Wochenschrift*, 40 (1962b), 732-733.

DRISCHEL, H.: «Formale Theorien der Organisation (Kybernetik und verwandte Disziplinen)», *Nova Acta Leopoldina*, Halle, 1968.

DRUCKREY, H., y KUPFMÜLLER, K.: «Dosis und Wirkung», *Die Pharmazie*, 8, Beiheft 1, Erg.-Bd., Aulendorf (Württ.), Editio Cantor GmbH, 1949, 513-595.

DUBOS, R.: «Environmental Biology», *BioScience*, 14 (1964), 11-14.

— , «We Are Slaves to Fashion in Research!», *Scientific Research*, enero de 1967, 36-37, 54.

DUNN, M. S. E., MURPHY, A., y ROCKLAND, L. B.: «Optimal Growth of the Rat», *Physiological Review*, 27 (1947), 72-94.

EGLER, F. E.: «Bertalanffian Organismicism», *Ecology*, 34 (1953), 443-446.

ELSASSER, W. M.: *The Physical Foundation of Biology*, Nueva York, Pergamon Press, 1958.

— , *Atom and Organism*, Princeton, Princeton University Press, 1966. Hay trad. española.

EYSENCK, H.: «Characterology, Stratification Theory and Psychoanalysis: An Evaluation», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.

FEARING, F.: «An Examination of the Conceptions of Benjamin Whorf in the Light of Theories of Perception and Cognition», *Language in Culture*, H. Hoijer, ed., *American Anthropologist*, 56 (1954), Memoir No. 79, 47.

FLANNERY, K. V.: «Culture History v. Cultural Process: A Debate in American Archaeology», *Scientific American*, 217 (1967), 119-122.

FOERSTER, H. von, y ZOPF, G. W., Jr., eds.: *Principles of Self-Organization*, Nueva York, Pergamon Press, 1962.

FOSTER, C., RAPOPORT, A., y TRUCCO, E.: «Some Unsolved Problems in the Theory of Non-Isolated Systems», *General Systems*, 2 (1957), 9-29.

FRANK, L. K., HUTCHINSON, G. E., LIVINGSTONE, W. K., MCCULLOCH, W. S., y WIENER, N.: «Teleological Mechanisms», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 50 (1948).

FRANKL, V.: «Das homöostatische Prinzip und die dynamische Psychologie», *Zeitschrift für Psychotherapie und medizinische Psychologie*, 9 (1959a), 41-47.

— , *From Death-Camp to Existentialism*, Boston, Beacon Press, 1959b.

— , «Irrwege seelenärztlichen Denkens (Monadologismus, Potentialismus und Kaleidoskopismus)», *Nervenarzt*, 31 (1960), 385-392.

FRANKS, R. G. E.: *Mathematical Modeling in Chemical Engineering*, Nueva York, Wiley, 1967.

FREEMAN, G.: *The Energetics of Human Behavior*, Ithaca, Cornell University Press, 1948.

FREUD, S.: *Introducción general al psicoanálisis.*

FRIEDELL, E.: *Kulturgeschichte der Neuzeit*, Munich, C. H. Beck, 1927-31.

GARAVAGLIA, C., POLVANI, C. y SILVESTRINI, R.: «A Collection of Curves Obtained With a Hydrodynamic Model Simulating Some Schemes of Biological Experiments Carried Out With Tracers», Milán, CISE, Report 60 (1958), 45 pp.

GAZIS, D. C.: «Mathematical Theory of Automobile Traffic», *Science*, 157 (1967), 273-281.

GEERTZ, C.: «The Growth of Culture and the Evolution of Mind», *Theories of the Mind*, Jordan Scher, ed., Nueva York, The Free Press, 1962.

GESSNER, F.: «Wieviel Tiere bevölkern die Erde?», *Orion* (1952), 33-35.

GEYL, P.: *Napoleon For and Against*, Londres, Jonathan Cape, 1949 (1957).

— , *Debates with Historians*, Nueva York, Meridian Books, 1958.

GILBERT, A.: «On the Stratification of Personality», *Perspectives in Personality*

Theory, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.

GILBERT, E. N.: «Information Theory After 18 Years», *Science*, 152 (1966), 320-326.

GLANSDORFF, P. y PRIGOGINE, J.: «On a General Evolution Criterion in Macroscopic Physics», *Physica*, 30 (1964), 351-374.

GOLDSTEIN, K.: *The Organism*, Nueva York, American Book Company, 1939.

— , «Functional Disturbances in Brain Damage», *American Handbook of Psychiatry*, vol. I, Silvano Arieti, ed., Nueva York, Basic Books, 1959.

GRAY, W., RIZZO, N. D. y DUHL, F. D., eds.: *General Systems Theory and Psychiatry*, Boston, Little, Brown and Company.

GRINKER, R. R., ed.: *Toward a Unified Theory of Human Behavior*, 2.ª ed., Nueva York, Basic Books, 1967.

GRODIN, F. S.: *Control Theory and Biological Systems*, Nueva York, Columbia University Press, 1963.

GROSS, J.: «Die Krisis in der theoretischen Physik und ihre Bedeutung für die Biologie», *Biologisches Zentralblatt*, 50 (1930).

GUERRA, E. y GÜNTER, B.: «On the Relationship of Organ Weight, Function and Body Weight», *Acta Physiologica Latino-Americana*, 7 (1957), 1-7.

GÜNTER, B. y GUERRA, E.: «Biological Similarities», *Acta Physiologica Latino-Americana*, 5 (1955), 169-186.

HACKER, F.: «Juvenile Delinquency», *Hearings before the U. S. Senate Subcommittee Pursuant to S. Res. No. 62*, Washington, U. S. Government Printing Office, 15-18 de junio, 1955.

HAHN, E.: «Aktuelle Entwicklungstendenzen der soziologischen Theorie», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 15 (1967), 178-191.

HAIRE, M.: «Biological Models and Empirical Histories of the Growth of Organizations», *Modern Organization Theory*, M. Haire, ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1959, 272-306.

HALL, A. D. y FAGEN, R. E.: «Definition of System», *General Systems*, 1 (1956), 18-29.

— , *A Methodology for Systems Engineering*, Princeton, Van Nostrand, 1962.

HALL, C. S. y LINDZEY, G.: *Theories of Personality*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1957.

HART, H.: «Social Theory and Social Change», en L. Gross, ed., *Symposium on Sociological Theory*, Evanston, Row, Peterson, 1959, 196-238.

HARTMANN, M.: *Allgemeine Biologie*, Jena, 1927.

HARTMANN, N.: «Neue Wege der Ontologie», *Systematische Philosophie*, N. Hartmann, ed., Stuttgart, 1942.

HAYEK, F. A.: «Degrees of Explanation», *British Journal of Philosophy of Science*, 6 (1955), 209-225.

HEARN, G.: *Theory Building in Social Work*, Toronto, University of Toronto Press, 1958.

HEBB, D. O.: *The Organization of Behavior*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1949.
— , «Drives and the C.N.S. (Conceptual Nervous System)», *Psychological Review*, 62 (1955), 243-254.
HECHT, S.: «Die physikalische Chemie und die Physiologie des Sehaktes», *Ergebnisse der Physiologie*, 32 (1931).
HEMMINGSEN, A. M.: «Energy Metabolism as Related to Body Size and Respiratory Surfaces, and its Evolution», *Reports of the Steno Memorial Hosp.*, parte 2, 9 (1960).
HEMPEL, C. G.: *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press, 1965.
HENRY, J.: *Cultura Against Man*, Nueva York, Random House, 1963. Hay trad. española.
HERRICK, CH.: *The Evolution of Human Nature*, Nueva York, Harper Torchbooks, 1956.
HERSH, A. H.: «Drosophila and the Course of Research», *Ohio Journal of Science*, 42 (1942), 198-200.
HESS, B.: «Fliessgleichgewichte der Zellen», *Deutsche medizinische Wochenschrift*, 88 (1963), 668-676.
— , «Modelle enzymatischer Prozesse», *Nova Acta Leopoldina*, Halle, 1969.
HESS, B. y CHANCE, B.: Über zelluläre Regulationsmechanismen und ihr mathematisches Modell», *Die Naturwissenschaften*, 46 (1959), 248-257.
HESS, W. R.: «Die Motorik als Organisationsproblem», *Biologisches Zentralblatt*, 61 (1941), 545-572.
— , «Biomotorik als Organisationsproblem. I. II», *Die Naturwissenschaften*, 30 (1942), 441-448, 537-541.
HILL, A. V.: «Excitation and Accomodation in Nerve», *Proceedings of the Royal Society*, London, 11 (1936).
HOAGLAND, H.: «Consciousness and the Chemistry of Time», *Transactions of the First Conference*, H. A. Abramson, ed., Nueva York, J. Macy Foundation, 1951.
HÖBER, R.: *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe*, 6.ª ed., Berlin, 1926.
HOIJER, H., ed.: *Language id Culture*, American Anthropologist Memoir No. 79 (1954).
HOLST, E. von: «Vom Wesen der Ordnung im Zentralnervensystem», Die *Naturwissenschaften*, 25 (1937), 625-631, 641-647.
HOLST, S.J.: «The Application of Comparative Population Studies to Fisheries Biology - An Exploration», en *The Exploitation of Natural Animal Population*, E. D. LeCren y M. W. Holdgate, eds., Oxford, Blackwell, s.f.
HOOK, S., red.: *Dimensions of Mind*, Nueva York, Collier Books, 1961.
HUMBOLDT, W. von: *Gesammelte Schriften*, VII, 1, Berlín, Preussische Akademie, s.f.
HUXLEY, A.: *The Doors of Perception*, Nueva York, Harper & Row, 1954.

HUXLEY, J.: *Problems of Relative Growth*, Londres, Methuen, 1932.

JEFFRIES, L. A., red.: *Cerebral Mechanisms in Behavior*, The Hixon Symposium, Nueva York, John Wiley & Sons, 1951.

JONES, R. W. y GRAY, J. S.: «System Theory and Physiological Processes», *Science*, 140 (1963), 461-466.

JUNG, F.: «Zur Anwendung der Thermodynamik auf biologische und medizinische Probleme», *Die Naturwissenschaften*, 43 (1956), 73-78.

KALMUS, H.: «Über die Natur des Zeitgedächtnisses der Bienen», *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 20 (1934), 405.

KAMARYT, J.: «Die Bedeutung der Theorie des offenen Systems in der gegenwärtigen Biologie», *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 9 (1961), 2040-2059.

— , «Ludwig von Bertalanffy a syntetické směry v západné biologii», en *Filosofické problémy moderni biologie*, J. Kamaryt, ed., Praga, Cesk. Akad. Ved, 1963, 60-105.

KANAEV, I. I.: *Aspectos de la historia del problema del tipo morfológico, de Darwin al presente* (en ruso), Moscú, Nauka, 1966, pp. 193-200.

KEITER, F.: «Wachstum und Reifen im Jugendalter», *Kölner Zeitschrift für Soziologie*, 4 (1951-1952), 165-174.

KLEIBER, M.: *The Fire of Life*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1961.

KLUCKHOHN, C. y LEIGHTON, D.: «The Navaho», *The Tongue of the People*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1951.

— , «Culture and Behavior», *Handbook of Social Psychology*, vol. 2, G. Lindzey, ed., Cambridge, Addison-Wesley Publishing Company, 1954.

KMENT, H.: «Das Problem biologischer Regelung und seine Geschichte in medizinischer Sicht», *Münchener medizinische Wochenschrift*, 99 (1957), 475-478, 517-520.

— , «The Problem of Biological Regulation and Its Evolution in Medical View», *General Systems*. 4 (1959), 75-82.

KOESTLER, A.: *The Lotus and the Robot*, Londres, Hutchinson, 1960.

— , *The Ghost in the Machine*, Londres, Hutchinson, 1967

— , «The Tree and the Candle», *Unity and Diversity of Systems*. *Festschrift for L. von Bertalanffy*, R. G. Jones, ed.

KÖHLER, W.: *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*, Erlangen, 1924.

— , «Zum Problem der Regulation», *Roux' Archiv*, 112 (1927).

KOTTJE, F.: «Zum Problem der vitalen Energie», *Annalen der Philosophie und philosophischen Kritik*, 6 (1927).

KRECH, D.: «Dynamic Systems as Open Neurological Systems», *Psychological Review*, 57 (1950), 283-290; reproducido en *General Systems*, 1 (1956), 144-154.

KREMYANSKIY, V. I.: «Certain Peculiarities of Organisms as a 'System' from the Point of View of Physics, Cybernetics, and Biology», *General Systems*, 5 (1960), 221-230.

KROEBER, A. L.: *The Nature of Culture*, Chicago, The University of Chicago Press, 1952.

— , *Style and Civilizations*, Ithaca, New York, Cornell University Press, 1957.

KROEBER, A. L. y KLUCKHOHN, C.: *Culture. A Critical Review of Concepts and Definitions*, Nueva York, Vintage, 1963 (1952).

KUBIE, L.: «The Distortion of the Symbolic Process in Neurosis and Psychosis», *Journal of the American Psychoanalytical Association*, 1 (1953), 59-86.

KUHN, T. S.: *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962. Hay edición española, México, 1971. F.C.E.

LABARRE, W.: *The Human Animal*, Chicago, University of Chicago Press, 1954.

LANGER, S.: *Philosophy in a New Key*, Nueva York, Mentor Books, 1948 (1942).

LASHLEY, K.: *Brain Mechanisms and Intelligence*, Nueva York, Hafner, 1964 (1929).

LECOMTE DU NOUY, P.: *Biological Time*, Nueva York, Macmillan, 1937.

LEHMANN, G.: «Das Gesetz der Stoffwechselreduktion», *Kükenthals Handbuch der Zoologie*, vol. 8, 4(5), Berlín, De Gruyter & Co., 1956.

LENNARD, H. y BERNSTEIN, A.: *The Anatomy of Psychotherapy*, Nueva York, Columbia University Press, 1960.

LERSCH, P. y THOMAE, H., eds.: *Handbuch der Psychologie*, vol. 4, *Persönlichkeitsforschung und Persönlihchkeitstheorie*, Gotinga, Hogrefe, 1960.

LEWADA, J.: «Métodos cibernéticos en sociología» (en ruso), *Kommunist*, Moscú, 14, 45 (1965).

LLAVERO, F.: «Bemerkungen zu einigen Grundfragen der Psychiatrie», *Der Nervenarzt*, 28 (1957), 419-420.

LOCKER, A.: «Das Problem der Abhängigkeit des Stoffwechsels von der Körpergrösse», *Die Naturwissenschaften*, 48 (1961a), 445-449.

— , «Die Bedeutung experimenteller Variable für die Abhängigkeit der Gewebsatmung von der Körpergrösse. II. Die Bezugsbasis», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 273 (1961b), 345-352.

— , «Reaktionen metabolisierender Systeme auf experimentelle Beeinflussung, Reiz und Schädigung», *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9 (1964), 38-107.

— , «Elemente einer systemtheoretischen Betrachtung des Stoffwechsels», *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchunge*, 14 (1966a), 4-24.

— , «Aktuelle Beiträge zur systemtheoretischen Behandlung des Stoffwechsels. Netzwerk-, graphentheoretische und weitere Verfahrn», *Studia Biophysica*, 1 (1966b), 405-412.

— , y R. M. Locker, «Die Bedeutung experimenteller Variabler für die Abhängigkeit der Gewebsatmung von der Körpergrösse. III. Stimulation der Atmung und Auftrennung in Substratanteile», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 274 (1962), 581-592.

LOEWE, S.: «Die quantitativen Probleme der Pharmakologie», *Ergebnisse der Physiologie*, 27 (1928).
LORENZ: «Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung», *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 5 (1943), 235.
LOTKA, A. J.: *Elements of Mathematical Biology*, Nueva York, Dover, 1956 (1925).
LUMER, H.: «The Consequences of Sigmoid Growth Curves for Relative Growth Functions», *Growth*, 1 (1937).
LURIA, A.: *The Role of Speech in the Regulation of Normal and Abnormal Behavior*, Nueva York, Pergamon Press, 1961.
LUTHE, W.: «Neuro-humoral Factors and Personality», *Perspectives in Personality Theory*, Henry David y Helmut von Bracken, eds., Londres, Tavistock, 1957.
MACCIA, E. S. y MACCIA, G. S.: *Development of Educational Theory Derived from Three Educational Theory Models*, Project 5-0638, Columbus, Ohio, The Ohio Research Foundation, 1966.
MAGOUN, H.: *The Waking Brain*, Springfield, Illinois, Charles C. Thomas, 1958.
MALEK, E.: *et al., Continuous Cultivation of Microorganisms*, Praga, Cesk. Akad. Věd, 1958, 1964.
MANNING, HON. E. C.: *Political Realignment - A Challenge to Thoughtful Canadians*, Toronto-Montreal, McClelland & Steward, Ltd., 1967.
MARTIN, A. W. y FUHRMAN, F. A.: «The Relationship Between Summated Tissue Respiration and Metabolic Rate in the Mouse and Dog», *Physiological Zoology*, 28 (1955), 18-34.
Mathematical Systems Theory, D. Bushaw *et al.*, eds., Nueva York, Springer, a partir de 1967.
MATHER, K. F.: «Objectives and Nature of Integrative Studies», *Main Currents in Modern Thought*, 8 (1951), 11.
MATSON, F.: *The Broken Image*, Nueva York, George Braziller, 1964.
MAY, R., ANGEL, E. y ELLENBERGER, H., eds.: *Existence: A New Dimension in Psychiatry and Psychology*, Nueva York, Basic Books, 1958.
MAYER, J.: «Growth Characteristics of Rats Fed a Synthetic Diet», *Growth*, 12 (1948), 341-349.
MCCLELLAND, C. A.: «Systems and History in International Relations - Some Perspectives for Empirical Research and Theory», *General Systems*, 3 (1958), 221-247.
MCNEILL, W.: *The Rise of the West*, Toronto, The University of Toronto Press, 1963.
MEIXNER, J. R. y REIK, H. G.: «Thermodynamik der irreversiblen Prozesse», *Handbuch der Physik*, vol. III/2, S. Flügge, ed., Berlín, Springer Verlag, 1959, pp. 413-523.
MENNINGER, K.: «The Psychological Aspects of the Organism under Stress», *General Systems*, 2 (1957), 142-172.

—, Henri Ellenberger, Paul Pruyser y Martin Mayman, «The Unitary Concept of Mental Illness», *Bulletin of the Menninger Clinic*, 22 (1958), 4-12.

— , Martin Mayman y Paul Pruyser, *The Vital Balance*, Nueva York, The Viking Press, 1963.

MERLOO, J.: *The Rape of the Mind*, Cleveland, The World Publishing Company, 1956.

MESAROVIĆ, M. D.: «Foundations for a General Systems Theory», *Views on General Systems Theory*, M. S. MESAROVIC, ED., NUEVA YORK, JOHN Wiley & Sons, 1964, 1-24.

METZGER, W.: «Psychologie», *Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe*, 52 (1941).

MEUNIER, K.: «Korrelation und Umkonstruktion in den Grössenbeziehungen zwischen Vogelflügel und Vogelkörper», *Biologia Generalis*, 19 (1951), 403-443.

MILLER, J. G. *et al.*: «Symposium: Profits and Problems of Homeostatic Models in the Behavioral Sciences», *Chicago Behavioral Sciences Publications*, 1 (1953).

MILLER, J.: «Towards a General Theory for the Behavioral Sciences», *American Psychol.*, 10 (1955) 513-531.

MILSUM, J. H.: *Biological Control Systems Analysis*, Nueva York, McGraw-Hill, 1966.

MINSKY, M. L.. *Computation, Finite and Infinite Machines*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, Inc., 1967.

MITTASCH, A.: *Von der Chemie zur Philosophie - Ausgewählte Schriften und Vortrage*, Ulm, 1948.

MITTELSTAEDT, H.: «Regelung in der Biologie», *Regelungstechnik*, 2 (1954), 177-181.

— , red., *Regelungsvorgänge in der Biologie*, Oldenburg, 1956.

MORCHIO, R.: «Gli organismi biologici come sistemi aperti stazionari nel modello teorico di L. von Bertalanffy», Nuovo Cimento, 10, supl. 12 (1959), 110-119.

MOSER, H. y MOSER-EGG, O.: «Physikalisch-chemische Gleichgewichte im Organismus», *Einzeldarstellungen a. d. Gesamtgeb. d. Biochemie*, Leipzig, 4 (1934).

MUMFORD, L.: *The Myth of the Machine*, Nueva York, Harcourt, Brace, 1967.

MURRAY, H.: «The Personality and Career of Satan», *Journal of Social Issues*, 18 (1962), 36-54.

NAGEL, E.: *The Structure of Science*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1961.

NAROLI, R. S. y von BERTALANFFY, L.: «The Principle of Allometry in Biology and the Social Sciences», *General Systems*, 1 (1956), 76-89

NEEDHAM, J.: «Chemical Heterogony and the Groundplan of Animal Growth», *Biological Review*, 9 (1934), 79.

NETTER, H.: «Zur Energetik der stationären chemischen Zustände in der Zelle», *Die Naturwissenschaften*, 40 (1953), 260-267.

— , *Theoretische Biochemie*, Berlín, Springer, 1959.

NEUMANN, J. von: «The General and Logical Theory of Automata», *Cerebral Mechanisms in Behavior*, L. A. JEFFRIES, ED., NUEVA YORK, WILEY, 1951.

— , y O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, Princeton University Press, 1947.

NUTTIN, J.: «Personality Dynamics», *Perspectives in Personality Theory*, Henry DAVID Y HELMUT VON BRACKEN, EDS., LONDRES, TAVISTOCK, 1957.

OPLER, M.: *Culture, Psychiatry and Human Values*, Springfield (Ill.), Charles C. Thomas, 1956.

OSTERHOUT, W. J. V.: «The Kinetics of Penetration», *Journal of General Physiology*, 16 (1933).

— , «Bericht über Vorträge auf dem 14. Internationalen Kongress für Physiologie, Rom, 1932», *Die Naturwissenschaften* (1933).

OSTERHOUT, W. J. V. y STANLEY, W. M.: «The Accumulation of Electrolytes», *Journal of General Physiology*, 15 (1932).

PARETO, V.: *Cours de l'économie politique*, París, 1897.

PATTEN, B. C.: «An Introduction to the Cybernetics of the Ecosystem: The Trophic-Dynamic Aspect», *Ecology*, 40 (1959), 221-231.

PIAGET, J.: *The Construction of Reality in the Child*, Nueva York, Basic Books, 1959.

PRIGOGINE, I.: *Étude thermodynamique des phénomènes irreversibles*, París, Dunod, 1947.

— , «Steady States and Entropy Production», *Physica*, 31 (1965), 719-724.

PUMPIAN-MINDLIN, E.: «Proposition Concerning Energetic-Economic Aspects of Libido Theory», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 76 (1959), 1038-1052.

PÜTTER, A.: «Studien zur Theorie der Reizvorgänge. I-VII», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 171, 175, 176, 180 (1918-1920).

— , «Studien über physiologische Ähnlichkeit. VI. Wachstumähnlichkeiten», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 180 (1920), 298-340.

QUASTLER, H., red.: *Information Theory in Biology*, Urbana, The University of Illinois Press, 1955.

RACINE, G. E.: «A Statistical Analysis of the Size-Dependence of Metabolism Under Basal and Non-Basal Conditions», tesis, University of Ottawa, 1953.

RAPAPORT, D.: *The Structure of Psychoanalytic Theory*, Psychological Issues, monograph 6, 2 (1960), 39-64.

RAPOPORT, A.: «Outline of a Probabilistic Approach to Animal Sociology. I-III», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 11 (1949), 183-196, 273-281; 12 (1950), 7-17.

— , «The Promise and Pitfalls of Information Theory», *Behav. Science* 1 (1956), 303-315.

—, «Lewis F. Richardson's Mathematical Theory of War», *General Systems*, 2 (1957), 55-91.
—, «Critiques of Game Theory», *Behav. Science*, 4 (1959a), 49-66.
—, «Uses and Limitations of Mathematical Models in Social Sciences», *Symposium on Sociological Theory*, L. Gross, ed., Evanston (Ill.), Row, Peterson, 1959b, 348-372.
—, *Fights, Games and Debates*, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1960.
—, «Mathematical Aspects of General Systems Theory», *General Systems*, 11 (1966), 3-11.
—, y J. Horvath, «Thoughts on Organization Theory and a Review of Two Conferences», *General Systems*, 4 (1959), 87-93.
RASHEVSKY, N.: *Mathematical Biophysics*, Chicago, The University of Chicago Press, 1939; 3.ª ed., 1960.
—, *Mathematical Biology of Social Behavior*, The University of Chicago Press, 1951.
—, «The Effect of Environmental Factors on the Rates of Cultural Development», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 14 (1952), 193-201.
—, «Topology and Life: In Search of General Mathematical Principles in Biology and Sociology», *General Systems*, 1 (1956), 123-138.
REIK, H. G.: «Zur Theorie irreversibler Vorgänge», *Annalen der Physik*, 11 (1953), 270-284, 407-419, 420-428; 13 (1953), 73-96.
RENSCH, B.: *Neuere Probleme der Abstammungslehre*, 2.ª ed., Stuttgart, 1954.
—, «Die Evolutionsgesetze der Organismen in naturphilosophischer Sicht», *Philosophia Naturalis*, 6 (1961), 288-326.
REPGE, R.: «Grenzen einer informationstheoretischen Interpretation des Organismus», *Giessener Hochschulblätter*, 6 (1962).
RESCIGNO, A.: «Synthesis for Multicompartmental Biological Models», *Biochimica et Biophysica Acta*, 37 (1960), 463-468.
RESCIGNO, A. y SEGRE, G.: *Drug and Tracer Kinetics*, Waltham, Massachusetts, Blaisdell, 1966.
RIEGL, A.: *Die spätrömische Kunstindustrie nach den Funden in Österreich-Ungarn*, Viena, Hof-und Staatsdruckerei, 1901.
ROSEN, R.: «A Relational Theory of Biological Systems», *General Systems*, 5 (1960), 29-44.
—, *Optimality Principles in Biology*, Londres, Butterworths, 1967.
ROSENBROCK, H. H.: «On Linear System Theory», *Proceedings of the IEEE*, 114 (1967), 1353-1359.
ROTHACKER, E.: *Die Schichten der Persönlichkeit*, 3.ª ed., Leipzig, Barth, 1947.
ROTHSCHUH, K. E.: *Theorie des Organismus*, 2.ª ed. Munich, Urban/Schwarzenberg, 1963.
ROYCE, J. R.: *The Encapsulated Man*, Nueva York, Van Nostrand, 1964.

RUESCH, J.: «Epilogue», *Toward a Unified Theory of Human Behavior*, 2.ª ed., R. R. Grinker, ed., Nueva York, Basic Books, 1967.

RUSSELL, B.: *Human Knowledge, Its Scope and Limits*, Londres, 1948.

SCHAFFNER, K. F.: «Antireductionism and Molecular Biology», *Science*, 157 (1967), 644-647.

SCHAXEL, J.: *Grundzüge der Theorienbildung in der Biologie*, 2.ª ed., Jena, Fischer, 1923.

SCHER, J., ed.: *Theories of de Mind*, Nueva York, The Free Press, 1962.

SCHILLER, C., ed. y trad.: *Instinctive Behavior*, Londres, Methuen & Co., 1957.

SCHOENHEIMER, R.: *The Dynamic State of Body Constituents*, 2.ª ed., Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1947.

SCHULZ, G. V.: «Über den makromolekularen Stoffwechsel der Organismen», *Die Naturwissenschaften*, 37 (1950), 196-200, 223-229.

— , «Energetische und statistische Voraussetzungen für die Synthese der Makromoleküle im Organismus», *Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie*, 55 (1951), 569-574.

SCOTT, W. G.: «Organization Theory: An Overview and an Appraisal», *Organizations: Structure and Behavior*. J. Litterer, ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1963.

SELYE, H.: *The Stress of Life*, Nueva York, McGraw-Hill, 1956.

SHANNON, C. y WEAVER, W.: *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana, University of Illinois Press, 1949.

SHAW, L.: «System Theory», *Science*, 149 (1965), 1005.

SIMON, H. A.: «The Architecture of Complexity», *General Systems*, 10 (1965), 63-76.

SKINNER, B. F.: «The Flight From the Laboratory», *Theories in Contemporary Psychology*, Melvin Marx, ed., Nueva York, The Macmillan Company, 1963.

SKRABAL, A.: «Von den Simultanreaktionen», *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* (A), 77 (1944), 1-12.

— , «Die Kettenreaktionen anders gesehen», *Monatshefte für Chemie*, 80 (1949), 21-57.

SKRAMLIK, E. von: «Die Grundlagen der haptischen Geometrie», *Die Naturwissenschaften*, 22 (1934), 601.

SMITH, V. E., ed.: *Philosophical Problems in Biology*, Nueva York, St. John's University Press, 1966.

SOROKIN, P. A.: *Contemporary Sociological Theories*, Nueva York, Harper Torchbooks, 1964 (1928).

— , *Modern Historical and Social Philosophies*, Nueva York, Dover, 1963 (1950).

— , «Reply to my Critics», *Pitirim A. Sorokin in Review*, Philip Allen, ed., Durham, Duke University Press, 1963.

—, *Sociological Theories of Today*, Nueva York-Londres, Harper & Row, 1966.

SPENGLER, O.: *Der Untergang des Abendlandes*, vol. 1, Munich, Beck, 1922.

SPIEGELMAN, S.: «Physiological Competition as a Regulatory Mechanism in Morphogenesis», *Quarterly Review of Biology*, 20 (1945), 121.

SPRINSON, D. B. y RITTENBERG, D.: «The Rate of Utilization of Ammonia for Protein Synthesis», *Journal of Biological Chemistry*, 180 (1949a), 707-714.

—, «The Rate of Interaction of the Amino Acids of the Diet With the Tissue Proteins», *Journal of Biological Chemistry*, 180 (1949b), 715-726.

STAGNER, R.: «Homeostasis as a Unifying Concept in Personality Theory», *Psychological Review*, 58 (1951), 5-17.

STEIN-BELING, J. von: «Über das Zeitgedächtnis bei Tieren», *Biological Review*, 10 (1935), 18.

STOWARD, P. J.: «Thermodynamics of Biological Growth», *Nature*, London, 194 (1962), 977-978.

SYZ, H.: «Reflection on Group-or Phylo-Analysis», *Acta Psychotherapeutica*, 11 (1963), supl., 37-88.

SZENT-GYÖRGYI, A.: «Teaching and the Expanding Knowledge», *Science*, 146 (1964), 1278-1279.

TANNER, J. y INHELDER, B. eds.: *Discussions on Child Development*, vol. 4, Londres, Tavistock, 1960.

THOMPSON, J. W.: «The Organismic Conception in Meteorology», *General Systems*, 6 (1961), 45-49.

THUMB, N.: «Die Stellung der Psychologie zur Biologie: Gedanken zu L. von Bertalanffy's *Theoretischer Biologie*», *Zentralblatt für Psychotherapie*, 15 (1943), 139-149.

TOCH, H. y HASTORF, A.: «Homeostasis in Psychology: A Review and Critique», *Psychiatry, Journal for the Study of Inter-Personal Processes*, 18 (1955), 81-91.

TOYNBEE, A.: *A Study of History*, vol. IX, Londres-Nueva York, Oxford University Press, 1954.

—, *A Study of History* vol. XII, *Reconsiderations*, Londres-Nueva York, Oxford University Press, 1961 (Galaxy), 1964.

TRIBIÑO S. E. M. G. de: «Una nueva orientación de la filosofía biológica: el organicismo de Luis Bertalanffy; primer premio 'Miguel Cané'», *Cursos y Conferencias*, Buenos Aires, 28 (1946).

TRINCHER, K. S.: *Biology and Information: Elements of Biological Thermodynamics*, Nueva York, Consultants Bureau, 1965.

TSCHERMAK, A. von: *Allgemeine Physiologie*, 2 vols., Berlin, Springer, 1916, 1924.

TURING, A. M.: «On Computable Numbers, With an Application to the Entscheidungsproblem», *Proceedings of the London Mathematical Society*, ser. 2, 42 (1936).

UEXKÜLL, J. von: *Umwelt und Innenwelt der Tiere*, 2.ª ed., Berlin, Springer, 1920.

— , *Theoretische Biologie*, 2.ª ed., Berlin, Springer, 1929.

— , y G. Kriszat, *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen*, Berlin, Springer, 1934.

UNGERER, E.: *Die Wissenschaft vom Leben. Eine Geschichte der Biologie*, vol. III, Friburgo-Munich, Alber, 1966.

VICKERS, G.: «Control, Stability, and Choice», *General Systems*, 2 (1957), 1-8.

VOLTERRA, V.: *Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*, París, Villars, 1931.

WAGNER, R.: *Probleme und Beispiele biologischer Regelung*, Stuttgart, Thieme, 1954.

WAHL, O.: «Neue Untersuchungen über dans Zitgedächtnis der Tiere», *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 16 (1932), 529.

WATT, K. E. F.: «The Choice and Solution of Mathematical Models for Predicting and Maximizing the Yield of a Fishery», *General Systems*, 3 (1958), 101-121.

WEAVER, W.: «Science and Complexity», *American Scientist*, 36 (1948), 536-644.

WEISS, P.: «Experience and Experiment in Biology», *Science*, 136 (1962a), 468-471.

— , «From Cell to Molecule», *The Molecular Control of Cellular Activity*, J. M. Allen, ed., Nueva York, 1962b.

WERNER, G.: «Beitrag zur mathematischen Behandlung pharmakologischer Fragen», *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Wien, Math. Nat. Kl.*, 156 (1947), 457-467.

WERNER, H.: *Comparative Psychology of Mental Development*, Nueva York, International Universities Press, 1957a.

— , «The Concept of Development from a Comparative and Organismic Point of View», *The Concept of Development*, Dale Harris, ed., Minneapolis, University of Minnesota Press, 1957b.

WHATMOUGH, J.: «Review of *Logic and Language (Second Series)*», *Classical Philology*, 50 (1955), 67.

WHITEHEAD, A. N.: *Science and the Modern World*, Lowell Lectures (1925), Nueva York, The Macmillan Company, 1953.

WHITTACKER, R. H.: «A Consideration of Climax Theory: The Climax as a Population and Pattern», *Ecological Monographs*, 23 (1953), 41-78.

WHORF, B. L.: *Collected Papers on Metalinguistics*, Washington, Foreign Service Institute, Department of State, 1952.

— , *Language, Thought and Reality: Selected Writings of B. L. Whorf*, John Carroll, ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1956.

WHYTE, L.: *The Unconscious Before Freud*, Nueva York, Basic Books, 1960.

WIENER, N.: *Cybernetics*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1948.

WOLFE, H. B.: «Systems Analysis and Urban Planning - The San Francisco Housing Simulation Model», *Transactions of the New York Academy of Sciences*, ser. II, 29:8 (junio de 1967), 1043-1049.

WOODGER, J. H.: «The Concept of 'Organism' and the Relation Between Embriology and Genetics», *Quarterly Review of Biology*, 5/6 (1930-31), 1-3.

— , *The Axiomatic Method in Biology*, Cambridge, 1937.

WORRINGER, W.: *Abstraktion und Einfühlung*, Munich, Piper, 1908. Hay trad. española, F.C.E.

— , *Formprobleme der Gotik*, Munich, Piper, 1911. Hay trad. española. Yourgrau, W., «General SystemTheory and the Vitalism-Mechanism Controversy», *Scientia*, Italia, 87 (1952), 307.

ZACHARIAS, J. R.: «Structure of Physical Sciences», *Science*, 125 (1957), 427-428.

ZEIGER, K.: «Zur Geschichte der Zellforschung und ihrer Begriffe», *Handbuch der allgemeiden Pathologie*, F. Büchner, E. Letterer y F. Roulet, eds., vol. 2, tomo 1, 1-16, 1955.

ZERBST, E.: «Eine Methode zur Analyse und quantitativen Auswertung biologischer steady-state Übergänge», *Experientia*, 19 (1963a), 166.

— , «Untersuchungen zur Veränderung energetischer Fleissgleichgewichte bei physiologischen Anpassungsvorgängen. I, II», *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 227 (1963b), 434-445, 446-457.

— , *Zur Auswertung biologischer Anpassungsvorgänge mit Hilfe der Fliessgleichgewichtstheorie*, Habilitationsschrift, Berlín, Freie Universität, 1966.

— *Eine Analyse der Sinneszellfunktion mit Hilfe der von Bertalanffy-Fliessgleichgewichtstheorie*, Berlín, Freie Universität, en prensa.

ZERBST, E., HENNERSDORF, C. y VON BRAMANN, H.: «Die Temperaturadaptation der Herzfrequenz und ihre Analyse mit Hilfe der Fliessgleichgewichttheorie», 2nd International Biophysics Congress of the International Organization for Pure and Applied Biophysics, Viena, 5-9 de sept. 1966.

ZERBST, E. y DITTBERNER, K. H., «Analysis of Biological Receptor-Generator Potentials with Special Reference to L. v. Bertalanffy's theory on the Steady State of Thermodynamical Open Systems», en *Unity Through Diversity: Festschrift in Honour of L. von Bertalanffy*, W. Gray y N. D. RIZZO ed, London, New York, Gordon Breach, 1971 (en prensa).

ZUCKER, L. y ZUCKER, T. F.: «A Simple Weight Relation Observed in Well-Nourished Rats», *Journal of general Physiology*, 25 (1942), 445-463.

— , L. Hall y M. Young, «Animal Growth and Nutrition. With Special Reference to the Rat», *Growth*, 5 (1941a), 399-413.

— , «Quantitative Formulation of Rat Growth», *Growth*, 5 (1941b), 415-436.

ZUCKER, T. F., HALL, L., YOUNG, M. y ZUCKER, L.: «The Growth Curve of the Albino Rat in Relation to Diet», *Journal of Nutrition*, 22 (1941), 123-138.

ZWAARDEMAKER, H.: «Die im ruhenden Körper vorgehenden Energiewanderungen», *Ergebnisse der Physiologie*, 5 (1906).
— , «Allgemeine Energetik des tierischen Lebens (Bioenergetik)». *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, 1 (1927).

Lecturas recomendadas

La siguiente lista ayudará a llevar adelante el estudio de la teoría general de los sistemas y de sus principales aplicaciones, según se definió en el libro. De ahí que sólo sean citados unos cuantos ejemplos representativos de la vasta bibliografía de campos como la cibernética, las teorías de la información, los juegos y la decisión, la termodinámica irreversible, el análisis y la ingeniería de sistemas, etc.

Generalidades, matemáticas de la teoría general de los sistemas

«Biologische Modelle», coloquio, *Nova Acta Leopoldina*, Halle, 1969. (Artículos de L. von Bertalanffy, H. Drischel, Benno Hess, etc.)

BOGUSLAW, W.: *The New Utopians*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, 1965.

BUCKLEY, W., ed.: *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist. A Sourcebook*, Chicago, Aldine Publishing Co., 1968.

General Systems, L. von Bertalanffy y A. Rapoport, eds., Bedford (Mass.), P. O. Box 228, Society for General Systems Research; 12 vols. desde 1956.

GORDON, JR., CHARLES, K.: *Introduction to Mathematical Structures*, Belmont (Cal.), Dickenson, 1967.

JONES, R. D., ed.: *Unity and Diversity, Essays in Honor of Ludwig von Bertalanffy*, Nueva York, Braziller, 1969. (Artículos de A. Auersperg, W. Beier y R. Laue, R. Brunner, A. Koestler, A. Rapoport, R. B. Zúñiga, etc.)

KLIR, G. J.: *An Approach to General Systems Theory*, Princeton (N. J.), Nostrand, 1968.

MACCIA, E. S. y MACCIA, G. S.: *Development of Educational Theory Derived*

from Three Educational Theory Models, Columbus (Ohio), The Ohio State University, 1966.

MESAROVIĆ, M. D.: *Systems Research and Design; View on General Systems Theory*, Nueva York, Wiley, 1961 y 1964; *Systems Theory and Biology*, Nueva York, Springer-Verlag, 1968.

System Theory, Proceedings of the Symposium, Brooklyn (N. Y.), Polytechnic Institute, 1965.

Texty ke studiu teorie řízení. Řada: Teorie systému a její aplikace, Praga, Vysoka Škola Politická, 1966.

Biofísica

BEIER, W.: *Einführung in die theoretische Biophysik*, Stuttgart, G. Fischer, 1965.

BERTALANFFY, L. von: *Biophysik des Fliessgleichgewichts*, trad. por W. H. Westphal, Braunschweig, Vieweg, 1953. Ed. revisada, con W. Beier y R. Laue, en preparación.

BRAY, H. G. y WHITE, K.: «Organisms as Physico-Chemical Machines», *New Biology*, 16 (1954), 70-85.

FRANKS, R. G. E.: *Mathematical Modeling in Chemical Engineering*, Nueva York, Wiley, 1967.

Quantitative Biology of Metabolism, coloquios internacionales, A. Locker y O. Kinne, eds., *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 9, 14 (1964, 1966).

RESCIGNO, A. y SEGRE, G.: *Drug and Tracer Kinetics*, Waltham (Mass.), Blaisdell, 1966.

YOURGRAU, W., VAN DER MERWE, A. y RAW, G.: *Treatise on Irreversible and Statistical Thermophysics*, Nueva York, Macmillan, 1966.

Biocibernética

BAYLISS, L. E.: *Living Control Systems*, San Francisco, Freeman, 1966.

DISTEFANO III, JOSEPH, J., STUBBERUD, A. R. y WILLIAMS, I. J.: *Schaum's Outline of Theory and Problems of Feedback and Control Systems*, Nueva York, Schaum, 1967.

FRANK, L. K. *et al.*: «Teleological Mechanisms», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 50 (1948).

GRODINS, F. S.: *Control Theory and Biological Systems*, Nueva York, Columbia University Press, 1963.

HASSENSTEIN, B.: «Die bisherige Rolle der Kybernetik in der biologischen Forschung», *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 13 (1960), 349-355, 373-382, 419-424.

, «Kybernetik und biologische Forschung», *Handbuch der Biologie*, L. von Bertalanffy y F. Gessner, reds., vol. I, Frankfurt a. M., Athenaion, 1966, 629-730.

KALMUS, H., ed.: *Regulations and Control in Living Systems*, Nueva York, Wiley, 1966.
MILSUM, J. H.: *Biological Control Systems Analysis*, Nueva York, McGraw-Hill, 1966.
WIENER, N.: *Cybernetics*, Nueva York, Wiley, 1948.

Ecología y campos afines

BEVERTON, R. J. H. y HOLT, S. J.: «On the Dynamics of Exploited Fish Populations», *Fishery Investigation*, ser. II, vol. XIX, London, Her Majesty's Stationery Office, 1957.
WATT, K. E. F.: *Systems Analysis in Ecology*, Nueva York, Academic Press, 1966.

Psicología y psiquiatría

BERTALANFFY, L. von: *Robots, Men and Minds*, Nueva York, Braziller, 1967.
GRAY, W., RIZZO, N. D. y DUHL, F. D., eds.: *General Systems Theory and Psychiatry*, Boston, Little, Brown, 1968.
GRINKER, R. R., ed.: *Toward a Unified Theory of Human Behavior*, 2.ª ed., Nueva York, Basic Books, 1967.
KOESTLER, A.: *The Ghost in the Machine*, Nueva York, Macmillan, 1968.
MENNINGER, K., MAYMAN, M. y PRUYSER, P.: *The Vital Balance*, Nueva York, Viking Press, 1963.

Ciencias sociales

BUCKLEY, W.: *Sociology and Modern Systems Theory*, Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, 1967.
DEMERATH III, N. J. y PETERSON, R. A., eds.: *System, Change, and Conflict. A Reader on Contemporary Sociological Theory and the Debate over Functionalism*, Nueva York, Free Press, 1967.
HALL, A. D.: *A Methodology for Systems Engineering*, Princeton (N. J.), Nostrand, 1962.
PARSONS, T.: *The Social System*, Nueva York, Free Press, 1957.
SIMON, H. A.: *Models of Man*, Nueva York, Wiley, 1957.
SOROKIN, P. A.: *Sociological Theories of oday*, Nueva York-Londres, Harper & Row, 1966.

Suplemento (1971)

BEIER, W.: *Biophysik*, 3.ª ed., Leipzig, Georg Thieme, 1968.
BEIER, W. y LAUE, W.: «On the Mathematical Formulation of Open Systems and Their Steady States», en *Unity through Diversity*, *loc. cit.*, libro II.

BERTALANFFY, L. von: «Chance or Law», en *Beyond Reductionism, loc. cit.*
BERTALANFFY, L. von: «The History and Status of General System Theory», en *Trends in General Systems Theory, loc. cit.*
Beyond Reductionism, A. Koestler y J. R. Smythies, eds., Londres-Nueva York, Hutchinson, 1969.
HAHN, W.: *Theory and Application of Liapunov's Direct Method*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963.
HARVEY, D.: *Explanation in Geography*, Londres, Arnold, 1969.
Hierarchical Structures, L. L. Whyte, A. G. Wilson y D. Wilson, eds., Nueva York, Elsevier, 1969.
Journal of General Systems, G. J. Klir y otros, eds., empezó a publicarse en 1972.
KOESTLER, A.: «The Tree and the Candle», en *Unity through Diversity, loc. cit.*, libro II.
LA SALLE, J. y LEFSCHETZ, S.: *Stability by Liapunov's Direct Method*, Nueva York-Londres, Academic Press, 1961.
LASZLO, E.: «Systems and Structures - Toward Bio-Social Anthropology», en *Unity through Diversity, loc. cit.*, libro IV.
LASZLO, E.: *Introducción to Systems Philosophy*, Londres-Nueva York, Gordon and Breach, en prensa.
MILLER, J. G.: «Living Systems: Basic Concepts», en *General Systems Theory and Psychiatry, loc. cit.*
MILSTEIN, M. y BELASCO, J.: *Educational Administration of the Behavioral Sciences: A Systems Perspective*, Boston, Allyn and Bacon, en prensa.
ROSEN, R.: «Two-Factor Models, Neural Nets in Biochemical Automata», *Journal of Theoretical Biology*, 15 1967), 282-297.
ROSEN, R.: *Dynamical System Theory*, vol. I, *Stability Theory and its Applications*, Nueva York, Wiley, 1970.
ROSEN, R.: «A Survey of Dynamical Descriptions of Systems Activity», en *Unity through Diversity. loc. cit.*, libro II.
SCHWARZ, H.: *Einführung in die moderne Systemtheorie*, Braunschweig, Vieweg, 1969.
Systems Thinking, F. E. Emery, ed., Londres, Penguin Books, 1969.
Trends in General Systems Theory, G. J. Klir, ed., Nueva York, Wiley, 1971.
Unity through Diversity A Festschrift in Honor of Ludwig von Bertalanfy, W. Gray y N. Rizzo, eds., en especial el libro II, «General and Open Systems», y el libro IV, «General Systems in the Behavioral Sciences», Londres-Nueva York, Gordon and Breach, 1971.
WEISS, P. A.: «Life, Order and Understanding», *The Graduate Journal*, The University of Texas, vol. VIII, supplement, 1970.
WILBERT, H.: «Feind-Beute-Systeme in kybernetischer Sicht», en *Oecologia* (Berlin), 5 (1970), 347-373.

Índice analítico

Índice de cuadros

Índice de figuras

Índice general

Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de abril de 1989 en los talleres de Encuadernación Progreso, S. A. de C. V., Calz. de San Lorenzo, 202; 09830 México, D. F.
Se tiraron 3 000 ejemplares.



Los complejos sistemas en tecnología, urbanización, trabajo social, relaciones internacionales y en tantos otros campos de la vida contemporánea están pidiendo cada vez más un acercamiento sintético en términos de sistema. La **Teoría general de los sistemas** ofrece en este sentido el desarrollo más reciente de toda una metodología innovadora y altamente refinada. Se trata de la creación de una nueva ciencia que sistematiza el paralelismo de principios cognoscitivos generales en diferentes campos de la actividad científica y social del hombre.

Von Bertalanffy, que ha concebido y desarrollado esta teoría, expone ampliamente en este libro sus métodos e implicaciones. Delínea la estructura conceptual, explica sus principios fundamentales y muestra cómo su teoría puede ser relacionada tanto con el organismo vivo como con la organización social, en busca de una integración interdisciplinaria de carácter rigurosamente científico.

Ludwig von Bertalanffy nació en Viena en 1901 y fue profesor de biología en la Universidad de su ciudad natal hasta que en 1949 marchó a Canadá y a los Estados Unidos, donde ha adquirido un enorme prestigio académico.

FONDO DE CULTURA ECONOMICA